



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

MATEMAATTIS-LUONNONTIEDELLINEN TIEDEKUNTA
MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA FAKULTETEN
FACULTY OF SCIENCE

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree programme Fysiikka (aineenopettajan sv.)
Tekijä – Författare – Author Anne Mattila		
Työn nimi – Arbetets titel – Title Relaationaalinen tieto yliopisto-opiskelijoiden sähkötehon selitysmalleissa		
Työn laji / Arbetets art – Level Pro Gradu - tutkielma	Aika – Datum – Month and year 27.10.2017	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 50+3
<p>Tiivistelmä – Referat – Abstract</p> <p>Oppimisen eräs suurin haaste on opiskelijoiden ennakkokäsitykset tieteellisistä ilmiöistä. Käsitykset ovat yleensä vain osittain lähellä tieteellistä käsitystä tai toisinaan jopa täysin ristiriitaisia sen kanssa. Uudempi tutkimus on keskittynyt selvittämään kognitiivisia tekijöitä ennakkokäsitysten muodostumisen taustalla ja on korostanut relaationaalisen tiedon merkitystä käsitteiden oppimisessa. Relaatioita ja relaationaalista tietoa voidaan siis pitää keskeisessä roolissa myös fysiikan käsitteiden oppimisessa, sillä käsitteiden merkitys rakentuu niiden sisäisen relaatorakenteen perusteella.</p> <p>Tässä tutkimuksessa selvitettiin yliopisto-opiskelijoiden käsityksiä sähkötehosta siihen liittyvien käsitteiden avulla. Aihe on kiinnostava ja ajankohtainen, sillä aiempaa tutkimusta sähkötehosta ei juurikaan ole. Tutkimuksessa tutkittiin käsitteiden lisäksi niiden yhteydessä käytettyjä kuvailevia sanoja sekä niiden välisiä relaatioita ja kausaalisia suhteita.</p> <p>Tutkimuksen aineisto kerättiin haastattelujen avulla, jotka toteutettiin fysiikan pää- ja sivuaine opettajaopiskelijoille. Haastattelut videoitiin. Haastattelussa oli tutoriaalitehtävistä koostuva perusta, mutta haastattelijat eivät käyttäneet ennalta sovittuja kysymyksiä, vaan haastattelu eteni opiskelijoiden selitysten pohjalta. Tutoriaalitehtävissä opiskelijoiden tuli asettaa kytkentäkaavioiksi piirrettyjen virtapiirien lamput kirkkausjärjestykseen. He pohtivat ensin vastauksia itsenäisesti ja sen jälkeen keskustelivat niistä kolmen-neljän hengen pienryhmissä. Pohdinnan jälkeen he rakensivat kytkentäkaavioista virtapiirit ja vertailivat ennusteitaan tekemiinsä havaintoihin.</p> <p>Videoidut haastattelut litteroitiin ja aineistolle tehtiin aineistolähtöinen laadullinen analyysi. Aineistosta etsittiin opiskelijoiden sähkötehon yhteydessä käyttämiä käsitteitä, käsitteisiin liitettyjä attribuutteja sekä käsitteiden välisiä relaationaalisia suhteita. Aineistosta muodostettiin seitsemän eritasoista selitysmallia sähköteholle.</p> <p>Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella havaittiin, että relaationaalisen tiedon hallinnalla on merkitystä kattavien selitysmallien muodostumisessa. Kehittyneimmät selitysmallit olivat lähimpänä tieteellistä käsitystä sekä sisälsivät eniten relaatioita ja toisistaan eriytyneitä käsitteitä. Kuitenkin suurin osa opiskelijoista käytti selityksissään vain yksinkertaisia relaatioita tai perusteli virtapiirien toimintaa opittujen laskukaavojen avulla tarkemmin erittelemättä mitä ne tarkoittavat. Heidän selitysmalleistaan voidaan päätellä, että puutteellinen relaationaalinen ymmärrys saattaa olla eräs syy tieteellisten käsitysten oppimisvaikeuksien taustalla.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords käsitteoriat, relaationaalinen tieto, ennakkokäsitykset, tasavirtapiirit, sähköteho		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information		



Pro gradu -tutkielma

Fysiikan opettajan suuntautumisvaihtoehto

RELAATIONAALINEN TIETO YLIOPISTO-OPISKELIJOIDEN
SÄHKÖTEHON SELITYSMALLEISSA

Anne Mattila

10/2017

Ohjaajat: dos. Maija Nousiainen
FM Tommi Kokkonen

Tarkastajat: dos. Maija Nousiainen
prof. Ismo Koponen

HELSINGIN YLIOPISTO
FYSIIKAN LAITOS

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)
00014 Helsingin yliopisto

Sisällys

1.	Johdanto	1
2.	Käsitteet ja käsitteellinen ymmärrys	3
2.1.	Käsitteisiin liitetyt ominaisuudet ja ontologiset kategoriat	4
2.2.	Kehysteoria	5
2.3.	Relaationaalinen tieto	6
2.4.	Relaationaalinen tieto virtapiirien kontekstissa	9
3.	Ennakkokäsitykset	11
3.1.	Virtapiireihin liittyvät käsitykset	12
3.1.1.	Kytcentöjen ajattelu kokonaisuutena	12
3.1.2.	Komponenttien järjestys ja lukumäärä	12
3.1.3.	Suljettu virtapiiri	13
3.1.4.	Paristo vakiovirran lähteenä	14
3.1.5.	Jännitteeseen liittyvät käsitykset	15
3.2.	Sähkötehoon liittyvät käsitykset	15
3.3.	Ennakkokäsitykset relaationaalisen tiedon valossa	16
4.	Tutkimuskysymykset	18
5.	Menetelmä	19
5.1.	Tutkimushaastattelu	19
5.2.	Haastattelutyyppi	20
5.3.	Haastattelutilanne, osallistujat ja tehtävät	20
6.	Analyysi	23
6.1.	Induktiivinen analyysi	23
6.2.	Analyysin vaiheet	24
6.3.	Analyysiin valitut luokat	25
6.3.1.	Attribuutit ja rajoittavat skeemat	26
6.3.2.	Relaationaaliset ja kausaaliset suhteet	28
6.3.3.	Selitysmallit	29
7.	Tulokset	32
7.1.	Vastaus tutkimuskysymykseen 1: Käsitteet ja attribuutit	32
7.2.	Vastaus tutkimuskysymykseen 2: Käsitteiden väliset relaatiot ja kausaaliset suhteet	35
7.3.	Tutkimuskysymysten pohjalta muodostetut selitysmallit	38
7.4.	Tulosten luotettavuus	43
8.	Johtopäätökset ja pohdinta	45
	Lähdeluettelo	48

Liite 1: Tutorkaalitehtävät	51
Ensimmäinen haastattelu	51
Toinen haastattelu.....	52
Kolmas haastattelu	53

1. Johdanto

Luonnontieteiden oppimisen eräs suurimmista haasteista on opiskelijoiden itse kehittämät, arkitietoon perustuvat käsitykset opetettavasta tieteellisestä ilmiöstä. Tällaiset käsitykset ovat yleensä vain osittain oikeita, sillä opiskelijat käyttävät tieteellisten ilmiöiden selittämisessä käsitteitä ja malleja, jotka vain jossain määrin sivuavat tieteellistä tietoa tai ovat jopa sen kanssa täysin ristiriitaisia. Opiskelijoiden omien käsitysten ja käsitteiden muuttuminen kohti tieteellisempää käsitystä on hidas ja hankala prosessi, ja se on lisäksi usein riippumaton opetuksen määrästä tai jopa oman selitysmallin kannalta ristiriitaisista kokeellisista havainnoista. Tämän voidaan ajatella johtuvan siitä, että opiskelijoiden oma intuitiivinen ymmärrys ja käsitteet ohjaavat ja rajoittavat seuraavien asioiden oppimista. Joissain tapauksissa opiskelijoiden omat käsitykset sekoittuvat opittavien tieteellisten käsitteiden kanssa muodostaen epätieteellisiä, synteettisiä käsityksiä (Vosniadou, 1994).

Ennakkokäsityksiä on tutkittu eri konteksteissa, kuten esimerkiksi fysiikassa, kemiassa, biologiassa ja historiassa. Suuri osa tästä tutkimuksesta selittää käsityksiä yhä ”tiedon yksiköinä” ja liittyy oppilaiden ennakkokäsityksiin. Uudempi tutkimus on kuitenkin osoittanut, että oppimisvaikeudet saattavat liittyä käsiteltävien asioiden kokonaisuuksiin, kuten keskinäisiin suhteisiin, yksittäisten käsitteiden ja teorioiden sijaan. (esim. Brown & Hammer, 2008; Perkins & Grotzer, 2005.) Erilaisia tarkkoja ennakkokäsityksiä voidaan esimerkiksi fysiikassa listata loputtomiin, mutta on epäselvää, mitkä yleisemmät oppimispsykologiset tai kognitiiviset tekijät näiden taustalla vaikuttavat. Jos keskitytään liiaksi tarkkoihin ennakkokäsityksiin, voivat opetukselliset ratkaisut muuttua behavioristiseksi ennakkokäsitysten kaavamaiseksi selvittämiseksi ja kumoamiseksi. Tällöin oppimisprosessi voi näyttäytyä yksinkertaisena käsitysten kumoamisena tai poisoppimisena ja tietorakenne saatetaan nähdä vain listana erilaisia käsityksiä. Tämän sijaan uudempi tutkimus on keskittynyt selvittämään, mitkä ovat ne kognitiiviset tekijät ennakkokäsitysten muodostumisen taustalla ja minkälaisen oppimisprosessin kautta oppija omaksuu tieteelliset käsitteet. Yksi yleinen oppimisvaikeuksiin liittyvä ominaisuus näyttäisi olevan oppilaiden puutteelliset käsitykset luonnonlaeista fysikaalisten ilmiöiden taustalla. (Brown & Hammer, 2008; Perkins & Grotzer, 2005; Kokkonen & Nousiainen, 2016.)

Tässä työssä tutkitaan yliopisto-opiskelijoiden käsityksiä sähkötehosta siihen liittyvien käsitteiden avulla. Käsitteiden lisäksi tutkitaan niiden yhteydessä käytettyjä kuvailevia sanoja, eli attribuutteja sekä käsitteiden välisiä relaatioita ja kausaalisia suhteita. Käsitteisiin liittyvien attribuuttien avulla voidaan tutkia eri käsitteiden eriytyneisyyttä toisistaan ja relaatioiden avulla käsitteiden suhteita ja keskinäistä järjestystä. Näiden pienempien käsitteisiin liittyvien osa-alueiden perusteella muodostetaan

luokittelu eritasoisille sähkötehon selitysmalleille. Työssä tehdään myös luokittelua eri selitysmallien kattavuudelle sekä eritellään niihin liittyviä etuja ja haittoja.

Tutkimuksen aihe on ajankohtainen, sillä sähkötehon käsityksistä ei ole juurikaan aiempaa tutkimusta. Virtapiirien kontekstissa tehdyissä tutkimuksissa mielenkiinnon kohde on ollut muissa käsitteissä ja vähäiset tulokset sähkötehoon liittyvistä käsityksistä ovat olleet tutkimuksen sivutuotteita. Toisaalta myös tämä aihe soveltuu relaationaalisen tiedon tutkimiseen, sillä sähkötehosta syntyy opiskelijoille usein eritasoisia käsityksiä. Jotta sähköteho voidaan selittää kattavasti, tarvitaan ymmärrystä sekä taitoa korkeamman asteen relaatioiden hyödyntämisestä. Kaikilla opiskelijoilla ei kuitenkaan välttämättä ole tällaista osaamista. Tässä työssä tärkein mielenkiinnon kohde on opiskelijoiden relaationaalisten suhteiden ymmärrys sekä niiden hyödyntäminen sähkötehoon liittyvien ilmiöiden selityksissä.

Tulosten yleistäminen ja vertaileminen on aiemman tutkimuksen puutteen vuoksi lähes mahdotonta, mutta saatujen tulosten perusteella aiheen jatkotutkimus osataan myöhemmin kohdistaa paremmin tässä tutkimuksessa esiin tulleisiin tärkeisiin seikkoihin. Jatkossa esimerkiksi yksittäisten mallien tutkiminen on helpompaa, kun niihin liittyvät piirteet ovat jo tunnistettu.

2. Käsitteet ja käsitteellinen ymmärrys

Psykologiassa ja kognitiotieteessä voidaan tunnistaa kolme erilaista tapaa määritellä käsitteen käsite: ominaisuuksiin pohjautuvat käsitteet (ks. Chi 2008; 2013), käsitteet teorian osina (ks. Vosniadou, 1994) ja käsitteet relaationaalisina skeemoina (ks. Gentner, 2005; Goldwater & Schalk, 2016). Näillä kaikilla näkökulmilla on omat etunsa ja haasteensa.

Psykologiassa käsitteet ymmärretään mielen tietorakenteina, joiden avulla hahmotamme maailmaa ja osaamme muodostaa selityksiä ja ennusteita tapahtumille. Monet käsiteteoriat käsittelevät ihmisen kykyä erilaisten asioiden luokitteluun ja niiden perusteiden oppimista. Käsitteiden oppimisen voi siis ymmärtää kyvyksi luokitella uusia asioita aiemmin kohtaamiemme yksittäistapausten perusteella isommiksi kokonaisuuksiksi. Esimerkiksi kohdatessamme koiran, tunnistamme sen koiraksi, koska sillä on samanlaisia ominaisuuksia muiden koirien kanssa sekä sellaisia ominaisuuksia, joiden perusteella se eroaa esimerkiksi kissasta. Ilman käsitteitä emme pystyisi yleistämään kohtaamiamme koiria koiriksi, vaan ne jokainen olisivat yksilöitä ilman yhteisiä piirteitä. Käsitteiden oppiminen ja niiden luokittelu voidaan siis nähdä saman ilmiön vastakkaisina puolina. Toisaalta osaamme järjestää käsitteitä yhteisten piirteiden perusteella eri kategorioihin, mutta toisaalta osaamme myös luokitella uuden käsitteen tiettyyn kategoriaan, jos se täyttää tämän kategorian vaatimukset. Olemassa olevien käsitteiden avulla pystymme myös päättelämään joitakin yleisiä ominaisuuksia esimerkiksi koirien käytöksestä, vaikka ne eivät olisi uudesta kohtaamastamme koirasta suoranaisesti nähtävissä. (Machery, 2009.)

Käsitteet voidaan kuvata joukoksi ominaisuuksia tai piirteitä, joita käsitettä edustavalla luokiteltavalla joukolla tyypillisesti on. Esimerkiksi metallin käsite koostuu piirteistä ”johtaa hyvin sähköä”, ”kiiltää”, ”johtaa hyvin lämpöä” jne. Toiset taas kuvaavat käsitteet joukoksi ominaisuuksia, joita jollakin joukon jäsenellä on. Esimerkiksi alumiini ”sulaa tietyssä pisteessä”, ”on tiheydeltään tietynlainen” tai ”on atomirakenteeltaan tietynlainen”. Ensimmäinen tulkinta rinnastaa käsitteet yleisempään luokitteluun metalleista, mutta jälkimmäisen tulkinnan mukaan käsitteet ovat jonkin tietyn metallin ominaisuuksia ja piirteet määräytyvät jonkin taustalla olevan rajoitteen mukaan. Tällaisia rajoitteita kutsutaan kehysteorioiksi, ja niiden ajatellaan jäsentävän havaintoja havaittujen asioiden kannalta merkityksellisten piirteiden perusteella. (ks. Machery, 2009.)

Eräs keskeinen käsitteisiin liittyvä piirre on, kuinka hahmotamme asioiden välisiä riippuvuussuhteita. Useiden käsitteiden merkitys rakentuu sen perusteella, miten ne suhtautuvat muihin käsitteisiin. Käsitteen merkitys rakentuu osana kokonaisuutta ja käsitteiden välisten suhteiden kautta. Yksittäinen käsite ei ole ymmärrettävissä, ellei ole tietoa, miten se on yhdistettävissä muihin sille läheisesti riippuviin käsitteisiin. Käsitteet ovat siis jotakin muuta kuin vain ominaisuuksien ja piirteiden kokoelma. Ne ovat käsiteteorioita, joiden mukaan käsitteet ovat joukko ominaisuuksia ja/tai piirteitä ja luokittelu tapahtuu

vertaamalla havaittavaa oliota näihin piireisiin. (Machery, 2009; Goldwater & Gentner, 2015.) Niitä voidaan pitää joukkona uskomuksia, joissa voi olla myös kausaalisia piirteitä (Keil, 1989). Käsityksemme niinkin tavallisesta käsitteestä kuin magneetti, on määritelty relaatiolla, jossa magneetin on luotava ympärilleen magneettikenttä voidakseen olla magneetti (ks. Gentner, 2005). Näin ollen käsite magneetti on pohjimmiltaan relaationaalinen käsite. Tarkasteltaessa jotakin monimutkaisempaa tapausta on selvää, että relaatioita tarvitaan ymmärryksen perustaksi. Esimerkiksi Kuun ja Maan tapauksessa voidaan sanoa, että Kuu liittyy Maahan, koska pyörii Maan ympäri. Tilanteelle voidaan tietenkin luoda myös fysikaalinen malli, jossa tapaukseen liittyvät relaatiot voidaan esittää matemaattisina funktiona (ks. Gentner, 2005).

Käsitteiden merkitys rakentuu myös niiden sisäisen relaatorakenteen perusteella. Tämä on aivan erityisen keskeistä esimerkiksi fysiikan tiedon kokonaisvaltaisessa ymmärtämisessä. Relaatioita ja relaationaalista tietoa voidaan pitää keskeisessä roolissa fysiikan käsitteiden oppimisessa. Fysiikan konteksteissa on havaittu, että avainasemassa ilmiöiden kokonaisvaltaiseen ymmärtämiseen on aihepiiriin liittyvien käsitteiden relaationaalisten yhteyksien ymmärtäminen (Kokkonen & Nousiainen, 2016). Puutteellista relaationaalista tietoa voidaan pitää mahdollisena selityksenä opiskelijoiden ennakkokäsityksille.

2.1. Käsitteisiin liitetyt ominaisuudet ja ontologiset kategoriat

Opiskelijoiden käsityksiä voidaan tutkia myös niiden sanojen avulla, joilla he kuvailevat käyttämiään käsitteitä. Kuvailevia sanoja kutsutaan attribuuteiksi. On esitetty, että opiskelijoiden oppimisvaikeuksien taustalla saattaa olla käsitteiden väärä ontologinen luokittelu, joka tarkoittaa käsitteiden luokittelua piirteidensä perusteella johonkin väärään kategoriaan. (Chi, Slotta & deLeeuw, 1994; Slotta & Chi, 2006; Chi 2008.) Tämän näkemyksen mukaan maailma voidaan jakaa ainakin kolmeen ontologiseen kategoriaan: aine, prosessit ja mielentilat. Nämä kolme pääkategoriaa voidaan edelleen jakaa alakategorioihin, esimerkiksi aine jaetaan elollisiin ja elottomiin olioihin. Elolliset oliot voidaan taas edelleen jakaa eläimiin ja kasveihin sekä elottomat oliot kiinteisiin ja nesteisiin. Käsitteiden ontologian sanotaan määräytyvän käsitteisiin liitettyjen ominaisuuksien eli attribuuttien perusteella. (Chi, ym. 1994; Chi, 2008.) Se tarkoittaa, että samaan kategoriaan kuuluvat käsitteet jakavat keskenään tiettyjä samoja ominaisuuksia. Väärään ontologiseen luokkaan sijoitetut käsitteet ovat ongelmallisia, sillä rinnakkaisilla luokilla on poikkeavia ominaisuuksia. Esimerkiksi voisi sanoa sähkövirran sijoittamisen materian luokkaan, eli elottomiin olioihin, vaikka prosessit olisivat oikea luokka (Slotta & Chi, 2006). Opiskelijat saattavat luokitella esimerkiksi sähkövirran ja veden samankaltaisiksi ja ajatella, että sähkön lähtiessä virtaamaan, se ei heti ennätä kaikkialle. Tällaisen ajattelumallin perusteella opiskelija voi esimerkiksi ajatella, että sarjaankytkennässä lamput eivät syty yhtä aikaa, vaan paristoa lähimpänä oleva lamppu syttyy ensimmäisenä. Toisaalta jos opiskelija mieltää

sähkövirran materiaksi, hänellä saattaa esimerkiksi olla virhekäsitys, jonka mukaan paristossa on varastoituneena sähkövirtaa. (Slotta & Chi, 2006.)

Käsitteet, jotka ovat yhdistetty tiettyyn kategoriaan voivat myös omaksua piirteitä, joita muilla kategoriaan kuuluvilla käsitteillä on. Väärään ontologiseen luokkaan sijoittaminen saattaa siis vaikeuttaa käsitteen oppimista jatkossa. Käsitteet, jotka ovat alusta asti sijoitettu oikeaan ontologiseen luokkaan, ovat helpompia oppia. Oikein luokiteltujen käsitteiden oppiminen ei vaadi niin radikaalia muutosta kuin väärin luokiteltujen käsitteiden. (Chi ym., 1994.)

Käsitteiden eriytymistä voidaan tutkia niiden sisältämien attribuuttien kautta. Mitä enemmän käsitteisiin yhdistetään samoja kuvailevia sanoja, sitä vähemmän eriytyneitä ne keskenään ovat. Kaksi käsitettä voi kuitenkin jakaa keskenään samoja attribuutteja olematta silti samoja, sillä attribuutit ovat kuvailevia piirteitä määrittelevien sijaan. Käsitteisiin liittyy myös kausaalisia yhteyksiä, jotka ovat tutkimuksien mukaan suuremmassa merkityksessä attribuutteihin verrattuna. (Kokkonen, 2013; Saari, 2013.) Attribuutit ovat siis kvalitatiivisesti erilaisia kuin relaationaaliset suhteet.

Sähkövirtaan liitetään usein esimerkiksi attribuutteja ”jakautuu” ja ”on sama sarjaan kytkennässä”. Jännitteeseen taas liitetään sellaisia kuvauksia, kuten ”on sama rinnankytkennässä” tai ”on kahden pisteen välillä”. (ks. Saari, 2013; Kokkonen, 2013.) Usein kuitenkin esimerkiksi käsitteet virta ja jännite jakavat samoja attribuutteja tilanteista riippuen. Tämä saattaa johtaa käsitteiden virheelliseen käyttöön opiskelijoiden selityksissä, mikäli käsitteet virta ja jännite eivät ole heidän käsitejärjestelmässään selkeästi eriytyneet. (vrt. Kokkonen & Nousiainen, 2016.)

2.2. Kehysteoria

Käsitteitä ja niiden ymmärrystä on lähestytty myös kehysteorian näkökulmasta, joka perustuu uuden tiedon omaksumista ohjaaviin rajoitteisiin. Näiden rajoitteiden ajatellaan ohjaavan uusien havaittavien olioiden merkityksellisten piirteiden perusteella käsitteiden luokittelua. Tässäkin näkökulmassa käsitteet ymmärretään kokoelmaksi ominaisuuksia tai piirteitä, mutta luokittelun taustalla oleva kehysteoria määrittää uudelle oliolle ne oleellisimmat piirteet. Kehysteorian mukaan käsitteet määräytyvät siis piirteidensä lisäksi sen suhteen, miten ne liittyvät toisiin käsitteisiin. Kehysteorian näkökulmassa käsitteiden ajatellaan olevan vain teorioiden osia ja mallia onkin kritisoitu siitä, että se ei määrittele käsitteiden luonnetta kattavasti. (Machery, 2009; Vosniadou, 1994.)

Vosniadou & Brewer (1992) ovat tutkineet lapsien ennakkokäsityksiä ja kehysteorioita Maasta. Pienillä lapsilla on havaittu olevan intuitiivisia malleja, joiden mukaan maa on litteä. Erityisesti lapsilla tällaiset intuitiiviset mallit ovat luontevia, sillä ne perustuvat arkipäiväiseen kokemukseen siitä, että esimerkiksi Maa on ympärillämme litteä. Vanhempien lasten kohdalla on havaittavissa piirteitä tieteellisestä pyöreästä Maan mallista. Mallien muutos litteästä pyöreään on kuitenkin hidas ja tapahtuu vaiheittain. Lapsilla on havaittavissa tässä vaiheessa nk. mentaalimalleja, joiden avulla koetetaan yhdistää aiempaa intuitiivista

litteää muotoa koulussa opittuun pyöreään pallonmuotoon. Lapset saattavat kuvata, että on olemassa kaksi Maata; toinen litteä, jossa liikumme ja toinen pyöreä, joka on taivaalla. Mentaalimallit ovat yleistäviä kuvauksia ympäröivästä maailmasta, joiden avulla voidaan selittää ja ennustaa ympäristöstä tehtyjä havaintoja. Mentaalimallit ovat siis tavallaan suppeampia kehysteoriota, joita voidaan muokata tarvittaessa kuvaamaan uutta informaatiota. Kuten kehysteoriat, mentaalimallitkin voivat olla esteenä tai rajoitteena käsitteelliselle oppimiselle. (Vosniadou & Brewer, 1992.) Tietorakenteita, joilla opiskelija jäsentää kohtaamiaan uusia käsitteitä, voidaan kutsua myös skeemoiksi. Ne ovat siis ihmisten mentaalisia malleja oikeasta elämästä, joiden avulla järjestetään ja suodatetaan kohdattua uutta informaatiota. Skeemojen tarkoitus on helpottaa uuden tiedon omaksumista ja nopeuttaa tiedosta tehtäviä johtopäätöksiä. Skeemat perustuvat ihmisen aiempiin kokemuksiin, mutta niiden ei ajatella olevan synnynnäisiä, vaan tarvittaessa kokemuksen kautta niitä voidaan myös muuttaa. (Tynjälä, 1999.)

Usein virhekesitykset syntyvät opiskelijoiden yrittäessä sovittaa aiempien kehysteorioidensa pohjalle uutta informaatiota. Kehysteoriat saattavat siis hankaloittaa tieteellisen käsityksen oppimista, jos uusi informaatio kohtaa ristiriidan aiempien ennakkokäsitysten kanssa. Ne käsitteet, jotka vaativat ontologisten kategorioiden tai kehysteorioiden muuttamista, ovat vaikeimpia oppia. Käsitteiden oppiminen on sitä vaikeampaa mitä syvemmällä tasolla ennakkokäsityksiä joudutaan muuttamaan. Mentaalimallien kuvataan siis rakentuvan pysyvien ja vaikeasti muutettavien kehysteorioiden varaan. Tämän vuoksi kehysteoriaa on kritisoitu liian staattiseksi kuvaukseksi tietorakenteista, sillä se antaa oletuksen, että käsitykset olisivat kontekstista riippumatta aina johdonmukaisia. Tämän kaltaisia tuloksia on saatu esimerkiksi Vosniadoun & Brewerin (1992) tutkimuksessa, mutta tuloksia ei ole pystytty vahvistamaan. (Brown & Hammer, 2008.)

Ontologiset kategoriat ja kehysteoria ovat eräitä näkökulmia, joista käsitteitä ja niiden ymmärrystä voidaan tarkastella. Ontologisten kategorioiden malli ei kuitenkaan ota huomioon käsitteisiin liittyviä kausaalisia yhteyksiä, vaikka niillä on todettu olevan attribuutteja suurempi merkitys käsitteiden luokitteluun (Kokkonen, 2013; Saari, 2013). Kehysteoria ottaa kantaa myös käsitteiden välisiin suhteisiin, mutta ei vastaa siihen, millaisia käsitteet ovat. Kehysteoriaa on kritisoitu liian pysyväksi malliksi tiedonkäsityksestä, sillä se ei huomioi opiskelijoiden käsitteissä esiintyviä muutoksia (Brown & Hammer, 2008). Uudempi tutkimus on edeltävistä näkökulmista poiketen keskittynyt tarkastelemaan käsitteiden lisäksi niihin liittyvää relaationaalista tietoa (ks. esim. Perkins & Grotzer, 2008; Kokkonen & Mäntylä, 2017).

2.3. Relaationaalinen tieto

Opiskelijoiden on opittava virtapiireihin liittyvien käsitteiden lisäksi tunnistamaan asioiden välisiä relaatioita. Virtapiirejä on tärkeää osata käsitellä systeeminä, jotta tasavirtapiireihin liittyviä keskeisiä asioita voi ymmärtää (ks. Slotta, Chi & Joram, 1995). Opiskelijoiden täytyy siis oppia sekä käsitteet että systeemin toimintaan liittyvät relaatiot, kuten Ohmin tai Kirchhoffin laki. Useat opiskelijoiden käsitteelliset vaikeudet

liittyvät heidän rajoittuneeseen tietoonsa erilaisista riippuvuussuhteista, jotka liittyvät fysiikan lakeihin ja malleihin, tai yleisiin relaationaalisiin käsitteisiin ja mallinnustapoihin. Opiskelijat ovat taipuvaisia käyttämään vain yksinkertaisia malleja (kuten A aiheuttaa B:n, joka aiheuttaa C:n jne.) selittäessään ilmiöitä monimutkaisempien yhteyksien, kuten rajoitteisiin liittyvien vuorovaikutuksien, avulla (Perkins & Grotzer, 2005).

Samanlaisia tuloksia on saatu käsitteiden eriytymisestä ja relaationaalisen tiedon roolista lukio- ja yliopisto-opiskelijoiden kuvauksissa tasavirtapiireistä. Näyttäisi siltä, että oppimisen aikaisessa vaiheessa relaationaalinen tieto ajaa käsitteiden erilaistumista (Koponen & Huttunen, 2013; Koponen & Kokkonen, 2014). Tämä tarkoittaa, että se kausaalinen relaatio, joka yhdistää sähkövirran jännitteeseen, määrittelee myös näiden käsitteiden roolin. Esimerkiksi Ohmin laki määrittelee eri käsitteiden roolin suhteessa toisiinsa, jolloin ne tulevat yksikäsitteisesti ymmärretyksi eri käsitteinä.

Relaatioita voidaan luokitella eri kategorioihin niiden ominaisuuksien perusteella:

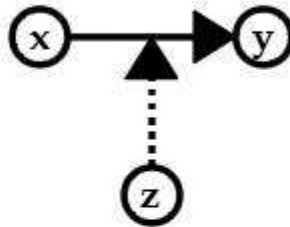
1. Yksinkertainen kausaalisuhde: asia X vaikuttaa asiaan Y (kuvassa 1 C1)
2. Välillinen syy-relaatio: asian Z on tapahduttava, että asia X vaikuttaa asiaan Y. (C2)
3. Kaksiosainen kausaalisuhde, jossa kaksi asiaa X ja Y vaikuttavat asiaan Z. (C3)
4. Monitasoinen kausaalisuhde: asia X vaikuttaa asiaan Y, joka taas vaikuttaa asiaan Z. (C5)
5. Ehtoihin perustuva kausaalisuhde, jossa jokin systeemi toimii näillä ehdoilla (esimerkiksi Ohmin laki virtapiireissä).
6. Yksinkertainen kierto: yksinkertainen tapahtumaketju, joka aiheuttaa tapahtuman jatkuman (esimerkiksi renkaan pyörivä liike aiheuttaa pyörimisliikkeen jatkumisen). (Perkins & Grotzer, 2005.)

Tasavirtapiireihin liittyvässä tutkimuksessa (ks. esim. Kokkonen & Mäntylä, 2017) on havaittu näistä relaatiomallit 1, 2, 3 ja 4 (katso kuva 1). Nämä samat mallit havaittiin myös tässä tutkimuksessa. Sen sijaan relaatiomallit 5 ja 6 ovat opiskelijoille vaikeampia tunnistaa ja käyttää kuin yksinkertaisemmat ja suoraviivaisemmat relaatiot. Tässä tutkimuksessa näitä kahta relaatiomallia ei löydetty aineistosta, joten niitä ei myöskään käsitellä. Kuvassa 1 on mukana myös kategoria C4, joka sisältää kaikki sellaiset kausaaliset suhteet, joissa ei ole selvää havaittavaa relaationaalisuutta. Onnistunut selitysmallien konstruointi edellyttää taitoa käyttää joustavasti eritasoisia relaationaalisia suhteita (Kokkonen & Mäntylä, 2017; Kokkonen, 2013; Koponen & Huttunen, 2013).

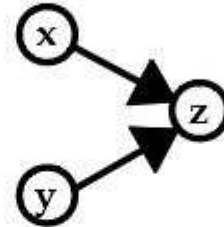
C1: y tapahtuu, koska x;
y riippuu x:stä



C2: y tapahtuu,
koska x, kun z



C3: z tapahtuu, koska x ja y;
z riippuu x:stä ja y:stä



C4: x:n ja y:n välillä
on riippuvuussuhde,
mutta ei
kausaalisuhdetta



C5: z tapahtuu, koska y, koska x



Kuva 1: Erilaisia relaatioita (C1-C5), joita oppilaat käyttävät selityksissään. x, y ja z ovat käsitteitä (kuten sähkövirta, jännite jne). Viivat kuvaavat käsitteiden välisiä suhteita. (vrt. Kokkonen & Mäntylä, s.4)

Relaatiot ja relaationaalinen tieto ovat tärkeitä esimerkiksi tiedon lajittelussa, analogioissa, selityksissä, käsitteiden oppimisessa, perustelussa ja ongelmanratkaisussa (Halford, Wilson, & Phillips, 2010). Tämän vuoksi relaationaalisten käsitteiden oppiminen on olennainen peruste ymmärryksen ylemmille tasoille. Esimerkiksi analogiat mahdollistavat oivalluksen tuntemattomista ilmiöistä niitä verrattaessa jo entuudestaan tunnettuihin ilmiöihin. Analogiat perustuvat kahden rakenteellisen samankaltaisuuden havaitsemiseen kahden ilmiön välillä. Tyypillisesti aluksi tunnistetaan aiemmin tunnettuun ilmiöön liittyvä relaationaalinen rakenne ja sen jälkeen sovitetaan se uuteen ilmiöön (Gentner, 2005). Tärkeä huomattava asia kuitenkin on, että analogisen kuvauksen itsenäisten kokonaisuuksien ei tarvitse olla keskenään täysin yhtäläisiä, mutta ne voidaan silti kuvata keskenään samanlaisilla rooleilla ja relaationaalisilla rakenteilla (Kokkonen & Nousiainen, 2016). Läheisten käsitteiden määrittelyn taito on siis eräs tärkeä asia tieteellisen tiedon kehittämisessä ja auttaa opiskelijaa muodostamaan paloista tieteellisesti oikeita kokonaisuuksia. Tasavirtapiirien kontekstissa yksi keskeinen näkökulma on ymmärtää kuinka esimerkiksi virta ja jännite

liittyvät piireihin ja komponentteihin (Kokkonen & Nousiainen, 2016). Kärjistetty esimerkki tällaisesta näkökulmasta voisi olla se, että virta jakautuu rinnankytkennöissä jännitteen pysyessä samana.

Aiheeseen liittyvässä kirjallisuudessa esitellään paljon mentaalisia malleja ja myös ne osoittavat relaationaalisen tiedon olevan hyödyllistä (Halford ym., 2010). Mentaalimalleille ei ole olemassa yksiselitteistä määritelmää, mutta usein niiden sanotaan sisältävän kausaalista ja/tai relaationaalista tietoa mallinnettavasta kohteesta (Markman, 1999). Osa tutkijoista kuvaa mentaalisia malleja ”toisiinsa liittyvinä käsitteinä” ja rakenteellisina analogioina asiasta, jota ne esittävät (Chi, 2013). Niiden avulla voidaan helposti ilmaista ilmiöön liittyvää päättelyä, tarjota ennuste käsiteltävälle ilmiölle tai peruste yllättävälle tuntemattomalle tapahtumalle (Kokkonen & Nousiainen, 2016).

2.4. Relaationaalinen tieto virtapiirien kontekstissa

Fysikaalisia käsitteitä voidaan ymmärtää relaationaalisten käsitteiden avulla. Ensimmäisen ja korkeamman asteen relaatioiden ero on se, että ensimmäinen koskee relaatioita käsitteiden välillä ja jälkimmäinen linkittää relaatiot (Gentner, 1989; Paatz, Ryder, Schwedes, & Scott, 2004). Tätä kahtiajakoa ensimmäisen ja korkeamman asteen relaatioiden välillä voidaan hyödyntää tasavirtapiirien ymmärtämisessä. Sähkövirta ja jännite hallitaan ensimmäisen asteen relaatiolla (Kirchhoffin lailla). Sen lisäksi yksinkertaisissa virtapiireissä virta ja jännite voidaan yhdistää Ohmin lain avulla, joka korkeamman asteen relaationa yhdistää relaationaalisia käsitteitä. Huomioitavaa kuitenkin on, että tämän kaltaiset kaavamaiset määrittelyt eivät ole välttämättä osa oppilaiden käsityksiä. Sen sijaan he saattavat nähdä sähkövirran jonakin joka virtaa piirissä tai jakautuu liitoksissa sekä jännitteen jonakin asiana pariston eri napojen välillä. Näissä tapauksissa käsitteet eivät ole millään tavalla yhdistyneet relaatioiden kautta. (Paatz ym., 2004.)

Käsitteiden määrittely voidaan ymmärtää ensimmäisen asteen relaationaalisten mallien oppimisella esimerkiksi virrasta ja jännitteestä. Tämä voi olla esimerkiksi ymmärrys siitä, kuinka virta ja jännite liittyvät erilaisiin piirin osasiin tai ymmärrys, että sähkövirta on jotakin, joka tulee paristosta tai jotakin, joka on pariston liittimien välissä. Niin ikään relaationaalisen mallin (esim. Ohmin lain) oppiminen tasavirtapiirien systeemeissä tarkoittaa korkeamman asteen relaatioiden hallintaa oleellisten käsitteiden kohdalla (kuten relaatio C2 kuvassa 1). Ensimmäisen asteen relaatiot vastaavat konkreettisemmin esimerkiksi aistihavaintoja, kun taas korkeamman asteen relaatiot käsittelevät abstraktimpia asioita ja relaatioita niiden välillä. (Kokkonen & Nousiainen, 2016.)

Opiskelijoiden käsityksiä kuvaavat myös heidän käyttämänsä käsitteiden väliset kausaaliset suhteet. Kausaaliset suhteet eroavat relaationaalisista suhteista siten, että käsitteiden välisellä suhteella on jonkin suunta, kuten syy ja seuraus. Esimerkiksi yksinkertaisten virtapiirien tapauksessa voidaan miettiä hahmottavatko opiskelijat lampun ottavan paristosta virtaa vai pariston tuottavan virtaa piiriin. Opiskelijoiden on havaittu liittävän eri käsitteisiin erilaisia relaatioita ja kausaalisuhteita. Esimerkiksi jännitteen ja virran välinen relaatio vaihtelee suuresti opiskelijoiden välillä. Osa kokee jännitteen olevan

virran syy, mutta osa luokittelee sen virran seuraukseksi. Lamppukytkeiden kirkkauksia tutkittaessa on selvinnyt, että usein opiskelijat ajattelevat vain virran aiheuttavan lampun kirkkauden (ks. Saari, 2013).

Resistanssi liitetään opiskelijoiden kuvauksissa usein joko virtaan tai jännitteeseen, mutta molempiin liittäminen vaatii jo kehittyneemmän käsitteiden relaationaalisen ymmärryksen. Sähkötehon relaatiot liittyvät useimmin virtaan ja resistanssiin, mutta jännite harvoin yksinään esiintyy tehon kanssa. Tällaisten relaatioiden muodostumiseen saattaa olla taustalla esimerkiksi koulussa opettettujen kaavojen, $U=RI$ tai $P=UI$, kirjoitusasut, mutta aiheesta ei vielä ole olemassa tarkempaa tutkimusta.

3. Ennakkokäsitykset

Ennakkokäsitykset ovat oppilaan omiin kokemuksiin ja havaintoihin perustuvia käsityksiä ilmiöistä sekä niiden käyttäytymistä säätelevistä säännönmukaisuuksista. Tästä johtuen ennakkokäsitykset ovat usein hajanaisia, kontekstisidonnaisia, keskenään ristiriitaisia ja usein myös ristiriidassa tieteellisten käsitysten kanssa. Viimeaikaisten tutkimusten mukaan edellisessä luvussa esitellyn relaationaalinen tiedon puutteellisuus on eräs mahdollinen selitys opiskelijoilla oleville ennakkokäsityksille. Ilman tietoa oleellisista relaationaalisista rakenteista fysikaalisten ilmiöiden taustalla tieteellisen käsityksen muodostuminen on vaikeaa. (Kokkonen & Mäntylä, 2017; Kokkonen & Nousiainen, 2016.)

Opetus tulisi suunnitella niin, että oppilaita ohjataan vähitellen hylkäämään omat virheelliset käsityksensä ja rakentamaan oma tietorakenteensa lähemmäs tieteellistä käsitystä. Myös lukion opetussuunnitelmassa (2015) ennakkokäsitykset huomioivaa opetusta painotetaan: *”Fysiikan opetuksen tuella opiskelijan käsitykset fysiikan käsitteistä rakentuvat, ja opiskelija ymmärtää niitä kvalitatiivisella ja kvantitatiivisella tasolla. Opiskelijoiden aikaisemmat kokemukset, uudet havainnot ja näkökulmat muokkautuvat opiskelijoiden ja opettajien vuorovaikutuksessa johdonmukaiseksi kokonaisuudeksi kohti fysiikan teorioiden mukaista käsitystä ympäröivästä todellisuudesta.”* (LOPS 2015) Opetussuunnitelmassa ei kuitenkaan anneta opettajille konkreettisia neuvoja, miten toteuttaa asetettua tavoitetta.

Oppilaat eivät ole valmiita luopumaan omista käsityksistään edes silloin kun ne osoitetaan virheellisiksi tai silloin kun he kohtaavat kokeellisia havaintoja, jotka ovat ristiriidassa aikaisempien ennakkokäsitysten kanssa. Tämän vuoksi opettajan on hyvä tunnistaa ja tietää oppilailla mahdollisesti aiheesta olevat virheelliset käsitykset, voidakseen suunnitella opetuksen ne huomioiden. Usein opiskelijat eivät kuitenkaan havaitse yhteyksiä suurempien kokonaisuuksien välillä, vaikka opetus huomioisi hyvin heidän ennakkokäsityksensä. He eivät tällöin osaa soveltaa oppimaansa teoreettista tietoa arkielämässä kohtaamissaan tilanteissa, vaan yhdistävät sen vain koulumaailmassa opetettuihin tilanteisiin. Tällaista tietoa voidaan kutsua elottomaksi tiedoksi. Oppilaat eivät havaitse yhteyttä asioiden välillä, sillä ajattelu- ja päättelyprosessit ovat luonteeltaan tilannesidonnaisia. (Hakkarainen ym., 2004.)

Ennakkokäsitykset vaikuttavat aina korkeakouluopintoihin saakka, jopa niin, että jotkin niistä jäävät koulujen päättymisen jälkeenkin muuttumattomiksi (Hakkarainen ym., 2004). Ennakkokäsitykset ovat siis lähtökohtana tieteellisen tiedon omaksumiselle, mutta ne voivat toimia myös oppimisen esteenä. Tutkimustulosten mukaan demonstraatioilla ja kokeellisella työskentelyllä voidaan jossain määrin vähentää oppilaiden virheellisiä käsityksiä, vaikkakin ennakkokäsitysten pysyvyys rajoittaa niitä (ks. Saxena, 1992). Toisaalta on havaittu, että fysiikan demonstraatioista ei oikeastaan opita mitään, vaan ne korkeintaan pitävät yllä motivaatiota opiskelua kohtaan (ks. Hendolin, 2009).

3.1. Virtapiireihin liittyvät käsitykset

Monet aikaisemmista ennakkokäsitystutkimuksista ovat keskittyneet opiskelijoiden käsityksiin tietyistä fysiikan aiheista. Tällainen on tuonut esiin monia ”virhekäsityksiä”, kuten esimerkiksi ”Kesällä Maapallo on lähempänä Aurinkoa” (Brown & Hammer, 2008). Monet tällaiset tutkimukset on tehty virtapiirien kontekstissa. Oppilaiden yleisimmät virhekäsitykset yksinkertaisissa virtapiireissä liittyvät suljettuun virtapiiriin, komponenttien järjestykseen, lukumäärään sekä kytkentöjen tunnistamiseen (mm. McDermott & Shaffer, 1992) sekä virheelliseen tai puutteelliseen ymmärrykseen virran, jännitteen, tehon ja resistanssin käsitteissä (mm. Li & Singh, 2016). Opiskelijoilla on myös selityksiä, jotka nojaavat yksinomaan sähkövirtaan ja usein he ajattelevat paristoa vakiovirtalähteenä. (McDermott & Shaffer, 1992; Engelhardt & Beicher, 2004.)

Opiskelijat osaavat hyvin laskea virtapiireihin liittyviä asioita, mutta eivät osaa selittää niitä. Toisinaan matematiikasta voi olla kuitenkin hyötyä, sillä opiskelijat tekevät vähemmän virheitä laskiessaan. Usein he eivät kuitenkaan laske, ellei sitä erikseen vaadita. (Li & Singh, 2016.) Virhekäsityksiä tutkittaessa opiskelijoita pyydetään usein asettamaan lamput kirkkausjärjestykseen kuten kuvassa 2. Tutkimuksissa heidän tehtävänään on ennustaa ja selittää yksinkertaisten virtapiirien toimintaa.

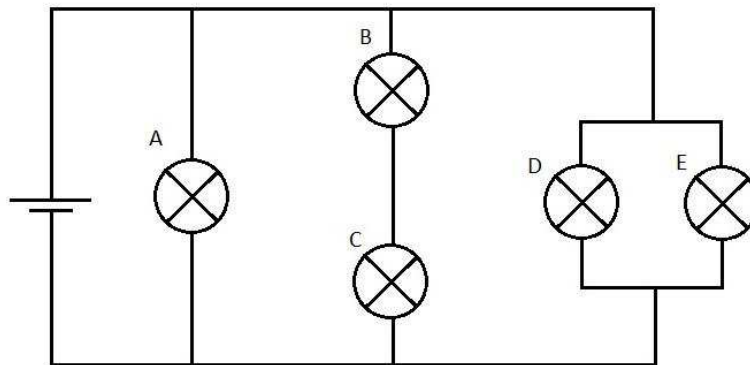
3.1.1. Kytkentöjen ajattelu kokonaisuutena

Usein tulee ilmi, että oppilaat sekoittavat toisilleen läheiset käsitteet, kuten jännitteen, virran ja energian (mm. Koponen & Huttunen, 2013; McDermott & Shaffer, 1992). Esimerkiksi jännitettä käytetään usein ristiin virran kanssa tai ajatellaan, että jännite on virran määrä, joka on säilötyinä paristossa (Reiner, Slotta, Chi & Resnick, 2000). Tämän kaltainen ajattelu on yhteydessä naiiviin käsitykseen, jossa jokin (kuten sähkö, virta tai energia) tulee paristosta ja kulutetaan lampuissa (McDermott & Shaffer, 1992; Borges & Gilbert, 1999). Tämä yksinkertainen kausaalinen ajattelumalli kertoo vaikeudesta ajatella piiriä kokonaisuutena. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että oppilaat eivät usein tunnista yksittäisen muutoksen vaikutuksia koko piiriin ja ajattelevat, että piirin osia voi käsitellä itsenäisinä komponentteina huomioimatta muita (Shipstone, 1988; McDermott & Shaffer, 1992; Engelhardt & Beichner, 2004). Monesti samassa yhteydessä puhutaan myös nk. ”lokaalista päättelystä” (*sequence thinking/sequence model*) (Shipstone, 1988).

3.1.2. Komponenttien järjestys ja lukumäärä

Eräs yleinen virhekäsitys on, että komponenttien keskinäisellä järjestyksellä on väliä virran kulkemissa. Oppilaat ajattelevat usein, että virtalähdettä lähimpänä oleva komponentti saa suurimman virran. Seuraavaksi lähin saa hieman pienemmän virran, sillä ensimmäinen kappale kuluttaa osan lähteen antamasta kokonaisvirrasta (Borges & Gilbert, 1999; Li & Singh, 2016). Tästä seuraa se, että sarjaan kytkettyjen lampujen ajatellaan olevan erilaisia kirkkauksiltaan. Opiskelijoiden käsityksiä komponenttien keskinäisestä järjestyksestä on tutkittu kuvan 2 kaltaisen kytkennän avulla, jossa lamput ajatellaan identtisiksi ja kaikki komponentit ideaalisiksi. Tutkijat ovat havainneet, että vain viidennes vastaajista osaa asettaa lamput oikeaan kirkkausjärjestykseen ($A=D=E>B=C$). Usein opiskelijat saattavat järjestää lamput järjestykseen

$A=C=D=E>B$ (tai $A=B=D=E>C$), joka ilmentää sitä, että he ajattelevat virran suunnalla tai komponenttien määrällä olevan väliä. (McDermott & Shaffer, 1992.)



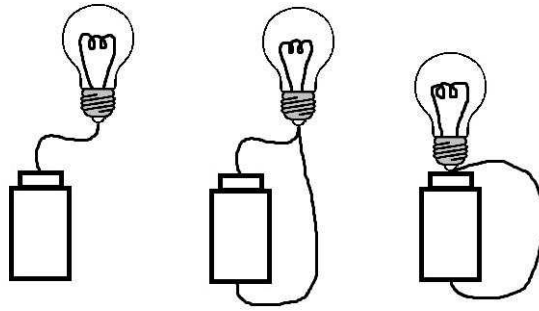
Kuva 2: Kytentäkaavio, jolla voidaan tutkia opiskelijoiden käsityksiä komponenttien keskinäisestä järjestyksestä. Lamput tulee asettaa kirkkausjärjestykseen. (vrt. McDermott & Shaffer, 1992)

Osa opiskelijoista väitti, että kuvan 2 lamput B, C, D ja E ovat keskenään yhtä kirkkaita, mutta A on kirkkaampi kuin muut. Opiskelijat perustelivat näkemystään sillä, että lamppu A saa yksinään paristosta enemmän kuin muut lamppuyhdistelmät B+C ja D+E, jotka jakavat saman määrän kahtia. Opiskelijat pitivät siis paristoa lähteenä, jossa jokin (esimerkiksi virta) jakautuu tasaisesti kaikkiin piirin haaroihin kytkennästä riippumatta. (McDermott & Shaffer, 1992.) Tämänkaltaisen ennakkokäsitys on havaittu useissa muissakin tutkimuksissa (ks. esim. Cohen, Eylon & Ganiel, 1983; Picciarelli ym., 1991; Engelhardt & Beichner, 2004).

On havaittu, että opiskelijat käyttävät virtapohjaisia selityksiä lamppujen kirkkauseroja perustellessaan (Kokkonen & Mäntylä, 2017; Kokkonen & Nousiainen, 2016; Koponen & Huttunen, 2013; Reiner, Slotta, Chi & Resnick, 2000; McDermott & Shaffer, 1992). Tämä ei kuitenkaan riitä, kun kyseessä on lamput, joiden resistanssit ovat erilaisia. Oppilaiden tulee kuvata ilmiötä hyödyntäen käsitteiden lisäksi niihin liittyviä relaationaalisia suhteita. Usein opiskelijat luulevat, että vain virta vaikuttaa lampun kirkkauteen.

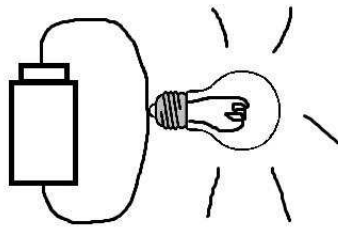
3.1.3. Suljettu virtapiiri

Opiskelijat ymmärtävät, että sähkövirta vaatii kulkeakseen suljetun virtapiirin (ks. McDermott & Shaffer, 1992). He eivät kuitenkaan osaa tunnistaa minkälaiset virtapiirit ovat suljettuja. Yleinen virhekesitys on, että yksi johto on riittävä patterin ja syttyvän lampun välille. Opiskelijoilla on havaittu olevan malli, jossa ajatellaan pariston positiivisesta navasta virtaavan sähkövirtaa lampun kantaan, jossa kaikki virta kuluu. Toinen johto lampusta takaisin paristoon nähdään tarpeettomana tai vain ylimääräisenä johtona, jolla ei ole aktiivista roolia piirin toiminnassa. Tällaista mallia käyttävien opiskelijoiden mielestä myös kuvan 3 vasemmanpuolimmaisın lamppu syttyy. (Borges & Gilbert, 1999.)



Kuva 3: Opiskelijoiden piirustuksia heidän pyydättäessä esittämään erilaisia tapoja kytkeä lamppu ja paristo (vrt. Shipstone, 1988)

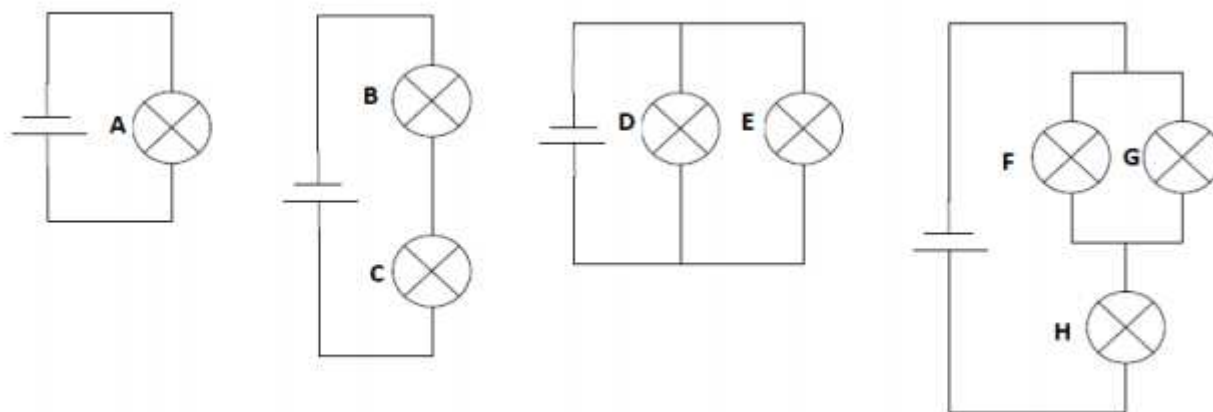
Kun opiskelijoita pyydetään piirtämään sellainen kuva, jossa lamppu palaa, osa opiskelijoista piirtää kuvan 4 kaltaisen kytkennän, jossa polttimo on kytketty vain yhdellä johdolla piiriin. Vääränlaiselle lampun toiminnan ajattelumallille on esitetty syiksi suljetun piirin käsitteen ymmärtämättömyyttä ja puutteellista lampun rakenteen tuntemusta. (McDermott & Shaffer, 1992.)



Kuva 4: Opiskelijan mukaan lamppu palaa, vaikka se on kytketty vain yhdestä kohdasta paristoon (ks. McDermott & Shaffer, 1992)

3.1.4. Paristo vakiovirran lähteenä

Aiemmin luvussa 3.1.1. kuvattuun ”lokaaliin päättelyyn” liittyy toisinaan myös ajatus paristosta, joka antaa aina piirille vakiovirran kytkennästä riippumatta (Shipstone, 1988; McDermott & Shaffer, 1992; Engelhardt & Breicher, 2004). Esimerkiksi kuvan 5 tapauksessa voidakseen asettaa lamput oikeaan kirkkausjärjestykseen ($A=D=E>H>B>C>F=G$), opiskelijoiden tulee ymmärtää, ettei paristosta saada vakiovirtaa, jos he haluavat nojata virtapohjaiseen selitykseen. Jos he ajattelevat paristoa vakiovirran lähteenä kytkennästä riippumatta, he saattavat ennustaa lamput D ja E himmeämmäksi kuin lampun A, koska virta puolittuu rinnankytkennässä. Kuva 5 on myös tässä tutkimuksessa käytetyn ensimmäisen tehtävän kolmas osa.



Kuva 5: Virtapiirien kytkentäkaavioita, joissa opiskelijoiden tehtävänä oli asettaa lamput kirkkausjärjestykseen ja perustella vastauksensa. Kaikki lamput ovat kytkennöissä samanlaisia.

3.1.5. Jännitteeseen liittyvät käsitykset

Opiskelijat eivät tunnista jännitteen roolia virtapiirien toiminnassa. Opiskelijoille on esimerkiksi epäselvää se, onko jännite virran syy vai seuraus. Selittäessään virtapiirien toimintaa opiskelijat sekoittavat jännitteen muihin eri käsitteisiin, useimmiten virtaan ja resistanssiin. Se saattaa olla seurausta siitä, että jännitteen käsite ei ole heidän ajatusmalleissaan tarpeeksi eriytynyt esimerkiksi virran käsitteestä. Toisinaan opiskelijat ajattelevat jännitteen olevan jonkinlainen paristossa olevan virran määrän mittari (Reiner, Slotta, Chi & Resnick, 2000).

3.2. Sähkötehoon liittyvät käsitykset

Sähkötehoon liittyviä virhekäsityksiä ei ole laajalti tutkittu, mutta monet yksinkertaisten virtapiirien ennakkokäsitykset heijastuvat myös siihen. Aiemmin on havaittu esimerkiksi, että opiskelijoilla on vaikeuksia tunnistaa komponenttien sisäistä resistanssia sekä piirin passiivisten komponenttien tehonkulutusta (Picciarelli ym., 1991). Opiskelijat eivät osaa käyttää tehon käsitettä oikein, vaan puhuvat usein ristiin virran, jännitteen, resistanssin ja tehon välillä (Li & Singh, 2016).

Osa opiskelijoista perustelee lamppujen olevan kirkkaampia, koska niiden suuremmasta resistanssista seuraa suurempi tehonkulutus. Toisaalta osa opiskelijoista ei tunnista yhteyttä lampun resistanssin ja tehonkulutuksen välillä, mutta osan mielestä lampun teholuokitus on kuitenkin verrannollinen resistanssiin. Tutkimusten mukaan opiskelijat eivät ymmärrä, että tehonkulutus määrittää lampun kirkkauden. He perustelevat lampun rakenteen aiheuttavan sen, että 100W lamppu on aina kirkkaampi kuin 25W lamppu. (Li & Singh, 2016.)

3.3. Ennakkokäsitykset relaationaalisen tiedon valossa

Edellä esitettyjen virhekäsityksien lisäksi oppilaiden on vaikeaa tunnistaa aiheeseen liittyvien käsitteiden, kuten virran, jännitteen, resistanssin ja tehon, välisiä relaatioita (Perkins & Grotzer, 2005; Kokkonen & Nousiainen, 2016). Kausaalisten relaatioiden puute saattaakin olla syy joihinkin virheellisiin käsityksiin.

Tasavirtapiireihin liittyvien käsitteiden on havaittu olevan vaikeita jopa yliopisto-opiskelijoille. On todettu, että useat opiskelijoiden vaikeuksista tasavirtapiireissä selittyvät pätevien mallien puutteella, väärillä uskomuksilla tai puutteellisilla tiedoilla. Intuiitiiviset selitykset keskittyvät komponenttien määrään piirissä, kuten ”enemmän lamppuja – vähemmän virtaa” tai ”vähemmän lamppuja – enemmän virtaa”. (McDermott & Shaffer, 1992.) Tässä ajatusmallissa on havaittavissa jonkinlainen yhteys komponenttien välillä, vaikkakaan se ei tunnista erilaisia kytkentöjä. Kehittyneemmät selitysmallit saattavat sisältää kvantitatiivisia yhtälöitä, mutta eivät silti tunnista esimerkiksi erilaisia kytkentöjä ja ennustavat väärin piirin käyttäytymistä. (Kokkonen & Nousiainen, 2016.)

Tieteellisen käsityksen muodostaminen on vaikeaa, ellei opiskelijalla ole tietoa oleellisimmista relaationaalisista rakenteista fysikaalisten ilmiöiden taustalla. (Kokkonen & Mäntylä, 2017; Koponen & Huttunen, 2013.) Opiskelijat eivät osaa hahmottaa käsitteiden välisiä suhteita, eivätkä tällöin tunnista yksittäisten osasten osuutta kokonaisuuden kannalta. Tämä saattaa johtaa virheellisten käsitysten syntymiseen tai vaikeuttaa yksittäisten käsitteiden roolin tunnistamista ja sijoittamista oikeaan relaationaaliseen hierakiaan muiden käsitteiden kanssa. Ilman relaationaalista osaamista opiskelijat eivät pysty erittelemään myöskään käsitteitä toisistaan tai tekemään selvää rajausta niiden tarkoittamien asioiden välille. (Kokkonen & Mäntylä, 2017; Kokkonen, 2013; Koponen & Huttunen, 2013.)

Opiskelijat, jotka ovat taitavia tunnistamaan ja käyttämään relaationaalisia suhteita, pystyvät paremmin päättelämään tapahtumaketjuja edestakaisin. He osaavat helposti jonkin ilmiön kohdatessaan lähteä etenemään siitä kohti ilmiön aiheuttaneita syitä sekä ilmiöstä aiheutuvia seurauksia. He osaavat lähteä liikkeelle monenlaisista lähtökohdista ratkaistessaan ongelmaa ja pystyvät rakentamaan päättelyketjua myös toisistaan kaukaisten selitysten osasten välille. Ilman relaationaalista osaamista kattavan selityksen tai päättelyketjun luominen on vaikeaa, sillä se usein katkeaa tai pysähtyy liian aikaisin. Puutteelliset selitykset ja tapahtumien päättelyketjut luovat ympäristön mahdollisille virhekäsityksille, joilla pyritään paikkaamaan ennestään puutteellista selitysmallia. (Kokkonen & Nousiainen, 2016; Perkins & Grotzer, 2005.)

Opiskelijat, joilla ei ole relaationaalista osaamista, eivät välttämättä edes tunnista oman mallinsa rajoittuneisuutta, vaikka se heille osoitettaisiinkin. Toisaalta, he saattavat tunnistaa mallinsa puutteellisuuden, mutta eivät tiedä kuinka toimia sen monipuolistamiseksi. Malliin upotetut, sitä paikkaavat, virheelliset käsitykset saattavat myös ohjata mallin kehitystä toisinaan väärään suuntaan, jolloin opiskelijan

käsitys monipuolistuu, mutta toisaalta pirstaloituu silti entisestään. Relaationaalisen osaamisen avulla opiskelijan saattaa olla helpompi tunnistaa ilmiöiden ja käsitteiden välillä olevia säännönmukaisuuksia ja tätä kautta relaationaalinen tieto saattaa auttaa häntä selkeyttämään malliaan. (Kokkonen & Nousiainen, 2016.)

4. Tutkimuskysymykset

Aiemmin on tutkittu laajasti tasavirtapiireihin liittyviä käsityksiä, mutta sähkötehon käsitteeseen liittyvää tutkimusta ei juuri ole löydettävissä. Kerättyyn aineistoon tutustutaan teoriaosuudessa luvussa 2 esitetystä relaationaalisen tiedon näkökulmasta. Aiheeseen liittyviä ennakkokäsityksiä on tarkemmin esitelty luvussa 3. Tässä tutkimuksessa käsitellään Helsingin yliopiston opiskelijoiden käsityksiä sähkövirrasta, jännitteestä, resistanssista sekä sähkötehosta. Yleinen tutkimusongelma tässä työssä on:

Millaisia selitysmalleja opiskelijoilla on sähköteholle?

Ongelmaa selvittäviksi tutkimuskysymyksiksi asetettiin:

1. Minkälaisia käsitteitä ja attribuutteja opiskelijat liittävät sähkötehoon?
2. Minkälaisia kausaalisia ja relaationaalisia suhteita käsitteiden sähkövirta, jännite, resistanssi ja sähköteho välillä voidaan havaita?

Tutkimuskysymyksiin vastataan tutkimalla opiskelijoiden keskusteluissaan käyttämiä käsitteitä ja tunnistamalla niihin liittyviä attribuutteja sekä kausaalisia ja relaationaalisia suhteita. Käytettyjen käsitteiden ja niihin liittyvien attribuuttien ja suhteiden avulla tutkitaan opiskelijoiden käsitteiden ymmärrystä. Näiden tunnusmerkkien avulla esitetään vastaus yleiseen tutkimusongelmaan eli hahmotetaan opiskelijoiden selitysmalleja sähkötehosta.

5. Menetelmä

Tutkimuskysymyksiin etsittiin vastauksia haastattelututkimuksen ja sen induktiivisen analyysin avulla. Haastattelu on yksi tiedonhankinnan muoto, joka voidaan toteuttaa monin tavoin, riippuen siitä minkälaista tietoa halutaan tutkittavasta ilmiöstä. Haastattelussa on monia etuja, kuten sen joustavuus aineiston keruussa. Haastattelussa voidaan tarpeen tullen selventää tai syventää vastauksia, säädellä haastattelun aiheiden järjestystä tai tutkia arkoja ja vaikeita aiheita. Haastattelun yhteydessä on myös helppoa sijoittaa puhe laajempaan kokonaisuuteen, sillä siinä ollaan kielellisessä vuorovaikutuksessa tutkittavan kanssa ja voidaan samalla myös havainnoida esimerkiksi eleitä tai ilmeitä. Haastattelu kuitenkin valitaan tiedonhankinnan keinoksi usein siksi, että halutaan tutkimustilanteessa korostaa ihmistä subjektina. Haastateltava on tutkimuksessa aktiivinen osapuoli, jolle on annettu mahdollisuus ilmaista itseään vapaasti. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 1997.)

Haastattelun monet edut ovat myös sen haittapuolia. Haastattelun teko edellyttää hyvää suunnittelua sekä tutustumista ja ennen kaikkea se vie aikaa. Haastatteluun sisältyy lisäksi monia virhelähteitä ja sen luotettavuutta saattaa heikentää haastateltavan taipumus antaa sosiaalisesti hyväksyttäviä vastauksia. (Hirsjärvi ym. 1997.)

Tässä työssä tutkitaan haastateltavien käsityksiä yksinkertaisista virtapiireistä ja niihin liittyvistä käsitteistä kuten sähkötehosta. Tutkimuksessa haastattelun muotona käytettiin tutkimushaastattelua.

5.1. Tutkimushaastattelu

Tutkimushaastatteluja voidaan luokitella monin eri tavoin, kuten strukturointiasteen tai lukumäärään perustuvilla kriteereillä. Tutkimushaastattelut jaetaan kolmeen alaluokkaan: lomakehaastattelu, teemahaastattelu ja avoin haastattelu. Strukturoitu haastattelu eli lomakehaastattelu perustuu usein kyselylomakkeeseen tai haastatteluun, jossa haastattelija käy ennalta sovittuja kysymyksiä läpi. Avointa eli strukturoimatonta haastattelua voidaan kutsua myös vapaaksi, kliiniseksi, epämuodolliseksi tai syvähaastatteluksi. Avoin haastattelu on lähimpänä keskustelua, jossa haastattelija käyttää avoimia kysymyksiä ja pystyy tarvittaessa ohjaamaan keskustelua esimerkiksi lisäkysymyksillä tai vastaajan aiemmilla vastauksilla haluamaansa suuntaan. (Hirsjärvi & Hurme, 2010.)

Teemahaastattelu on aiemmin esitellyn kahden haastatteluluokan välimuoto ja sitä kutsutaan myös puolistrukturoiduksi haastatteluksi. Teemahaastattelussa on usein valmis haastattelurunko, mutta se ei ole niin tarkka kuin lomakehaastattelussa. Teemahaastattelu sopii avoimen haastattelun tapaan hyvin tilanteisiin, joissa aihe on vaikeasti lähestyttävä. Usein teemahaastatteluissa haastateltavat henkilöt ovat kokeneet jonkun tietyn tapahtuman, johon liittyviä kokemuksia yritetään kartoittaa. (Hirsjärvi & Hurme, 2010.)

Haastattelut voidaan jakaa myös osallistujamäärän mukaan yksilö- tai ryhmähaastatteluihin. Yksilöhaastattelu on useimmiten käytetty haastattelumuoto, jossa voidaan tarkasti keskittyä yksittäiseen ihmiseen. Ryhmähaastattelujen avulla voidaan kuitenkin vähentää tilanteen kiusallisuutta ja saada siitä luontevampi kuin yksilöhaastatteluissa. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 1997.)

Ryhmähaastattelu on yksilöhaastattelua tehokkaampi tiedonkeruumuoto, sillä samalla kertaa voidaan haastatella useita henkilöitä. Ryhmän dynamiikka voi kuitenkin myös vaikuttaa haastattelun kulkuun. Esimerkiksi dominoivat opiskelijat saattavat ohjata keskustelun suuntaa liikaa tai ryhmä saattaa estää tilanteeseen liittyvien kielteisten asioiden esiintulon. Toisaalta ryhmä saattaa kuitenkin auttaa yksilöitä muistinvaraisissa asioissa tai väärinkäsitysten oikaisussa. Tuloksia tulkittaessa tulee siis kiinnittää huomioita myös näihin asioihin. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 1997.)

5.2. Haastattelutyyppi

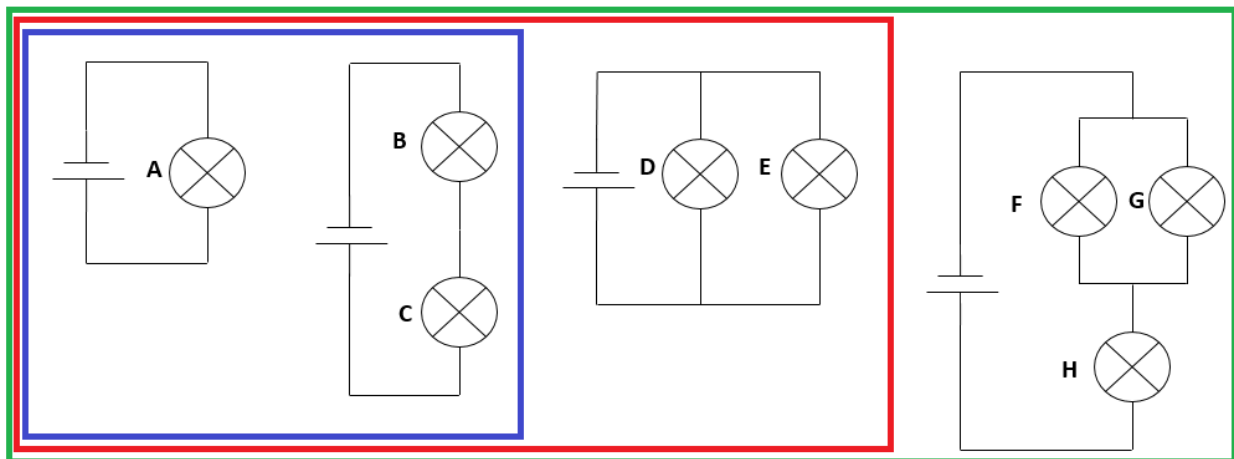
Tutkimushaastattelun alaluokista tähän työhön valittiin avoimen ja teemahaastattelun välimuoto, jossa haastateltavat olivat pienissä 3-4 hengen ryhmissä. Lomakehaastattelu olisi ollut tutkimukseen liian kankea ja yksipuolinen tapa, sillä oppilaiden omat näkemykset olisivat saattaneet jäädä tulematta esille. Haastattelussa oli teemahaastattelun tapaan sopivia tehtäviä, joita oppilaat miettivät aluksi yksin ja sitten keskustelivat niistä pienryhmässä. Ryhmähaastattelun avulla tilanteesta saatiin luotua keskustelevampi ja luontevampi haastateltaville. Opiskelijoilla ei ollut pohjustusluentoa ennen tehtävien tekoa. Aikaa kullekin haastattelukerralle ja tehtäväsarjalle oli yhden luennon verran, eli noin puolitoista tuntia. Ryhmät etenivät omaan tahtiinsa, joten he käyttivät eri ajan eri tehtävien tekemiseen. Kaikki opiskelijat eivät ehtineet aikatauluongelmien vuoksi vastaamaan kaikkiin tehtäviin.

5.3. Haastattelutilanne, osallistujat ja tehtävät

Tutkimukseen osallistui 23 Helsingin yliopiston fysiikan opettajaopiskelijaa, joista osa oli fysiikan pääaineopiskelijoita ja osa fysiikan sivuaineopiskelijoita. Ryhmähaastattelutilanteessa opiskelijat työskentelivät 3-4 hengen ryhmissä tutoriaali-tyyppisten virtapiiritehtävien parissa. Opiskelijoita pyydettiin aluksi ennustamaan annettujen virtapiirien lampputen keskinäinen kirkkausjärjestys. Tämän jälkeen opiskelijat rakensivat virtapiirit ja selittivät havaintonsa. Haastatteliija oli paikalla koko ajan ja esitti tarvittaessa tarkentavia kysymyksiä. Haastatteliija pyrki kuitenkin puuttumaan tilanteeseen mahdollisimman vähän eikä esimerkiksi kysymyksillään ”syöttänyt” opiskelijoille mitään termejä ja/tai käsitteitä. Haastattelut videoitiin ja litteroitiin sanatarkasti.

Haastattelutehtävät ovat nähtävillä liitteessä 1. Tehtävät on laadittu asteittain vaikeutuviksi. Jokaisessa tehtäväsarjassa oli tarkoituksena asettaa kytkentöjen lamput keskenään oikeaan kirkkausjärjestykseen ja perustella vastaus.

Ensimmäinen haastattelu sisälsi kaksi tehtävää, joista ensimmäinen tehtiin paloittain. Ensimmäinen tehtävä alkoi helposta perustehtävästä, jossa oli kaksi kytkentää: toisessa yksi lamppu ja toisessa kaksi samanlaista lampputta sarjassa. Seuraavassa osassa oli ensimmäisen kahden piirin lisäksi myös kolmas piiri, jossa oli kaksi samanlaista lampputta rinnankytkennässä. Ensimmäisen tehtävän kolmas osa sisälsi aiemmat kolme (yksittäinen lamppu, sarjaan kytkentä, rinnankytkentä) sekä yhden vaikeamman piirin, jossa oli sekä sarjaan- että rinnankytkettyjä lampputta. Ensimmäisen tehtävän kolme osaa ovat kuvassa 6. Kuvaan on korostettu sinisellä ensimmäisen osan, punaisella toisen osan ja vihreällä kolmannen osan tehtävät. Piirit lisääntyivät siis osioiden edetessä niin, että kytkennät lisääntyivät yhdellä. Ensimmäisessä haastattelussa oli toisena tehtävänä kytkintehtävä, joka on nähtävissä liitteessä 1. Tässäkin tehtävässä ideana oli tutkia lampujen kirkkauksia.



Yllä olevat virtapiirit koostuvat samanlaisista lampuista ja paristoista. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään ja merkitse se paperiin. Jos kaksi lampputta tai useampi lamppu ovat yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Pohdi vastausta ensin itse ja vastauksen kirjoittamisen jälkeen pohtikaa ja keskustelkaa ryhmässä. |

Kuva 6: Ensimmäinen tehtävä, jossa samanlaisilla lampuilla oli sama resistanssi. Opiskelijoiden tehtävänä oli asettaa lamput kirkkausjärjestykseen ja perustella vastauksensa. Kuvaan on korostettu sinisellä ensimmäisen osion tehtävät, punaisella toisen osion ja vihreällä kolmannen osion tehtävät. Kytkennät lisääntyivät yksi kerrallaan.

Toinen haastattelu noudatti samaa kaavaa ensimmäisen haastattelun kanssa, tällä kertaa alkaen kytkintehtävästä, jossa tutkittiin lampun kirkkauden muutosta, kun kytkin suljetaan. Seuraavat kolme osiota kytkintehtävän jälkeen olivat samanlaiset kuin ensimmäisen tehtävän kolme muuta osiota, mutta piireissä oli eri kytkentöjen lisäksi eri resistanssisia lampputta. Toisen haastattelun toisessa tehtävässä oli kaksi piiriä, joissa kummassakin oli yksi lamppu, kuitenkin niin, että ne keskenään olivat eri resistanssiset. Toinen tehtävä vaikeutui asteittain samoin kuin ensimmäisessä haastattelussa. Toisen tehtävän toisessa osassa

kahden ensimmäisen osan piiriin lisäksi eri resistanssiset lamput olivat kytketty sarjaan. Kolmannessa eli viimeisessä osassa eri resistanssiset lamput oli lisäksi kytketty rinnakkain.

Kolmas haastattelu sisälsi kokoavia tehtäviä. Kolmannessa haastattelussa opiskelijat tekivät ensimmäisen ja toisen tehtävän vaikeimmat osat uudelleen sekä lisäksi yhden tehtävän, jossa oli kytketty piiriin useampia paristoja. Kolmannen haastattelun tarkoituksena oli luoda vertailua vastauksien mahdolliselle kehitykselle ensimmäiseen ja toiseen haastatteluun verrattuna.

6. Analyysi

Haastattelujen analyysi toteutettiin aineistolähtöisenä laadullisena analyysinä. Analyysi seurasi melko tarkasti Anu Saaren kehittämää mallia (ks. Saari, 2013). Aluksi aineistoon tutustuttiin litterointien avulla. Osa aineistosta oli jo valmiiksi litteroitu, mutta pieni osa haastatteluista litteroitiin videoista eli kirjoitettiin sanasta sanaan tekstiksi ennen analyysin aloittamista. Litteroinnissa kirjoitettiin ylös keskustelun lisäksi myös, jos joku haastateltavista osoitti jotakin erityistä kohtaa kytkentäkaaviossa tai oikeissa kytkennöissä, jotta keskustelun ymmärtäminen ja analyysin teko jälkikäteen olisi selvempää.

6.1. Induktiivinen analyysi

Laadullinen analyysi voidaan jaotella induktiiviseen ja deduktiiviseen analyysiin. Jaottelu perustuu päättelyn logiikkaan, jonka avulla tulkitaan tuloksia. Induktiivinen analyysi tarkoittaa yksittäisestä tapahtumasta päättelyä yleiseen ja deduktiivinen yleisestä yksittäiseen. Aineistolähtöisessä analyysissä tutkimusaineistosta pyritään muodostamaan teoria, joka kuvaa tutkittua aihetta. Induktiivisessa analyysissä päätarkoituksena on se, ettei ennalta-aseteta analysoitavia yksiköitä. Tässä työssä käytetty analyysia ei siis voi kutsua täysin induktiiviseksi, sillä jo analysointia aloitettaessa tarkoituksena oli löytää aineistosta käsitteitä ja niiden ominaisuuksia, rajoittavia skeemoja sekä kausaalisia suhteita. (Tuomi & Sarajärvi, 2002.)

Tässä käytetyn induktiivisen analyysin toteutusvaiheita on jaoteltu seuraavalla tavalla (Tuomi & Sarajärvi, 2002):

1. aineiston redusointi eli pelkistäminen
2. aineiston klusterointi eli ryhmittely
3. abstrahointi eli teoreettisten käsitteiden luominen

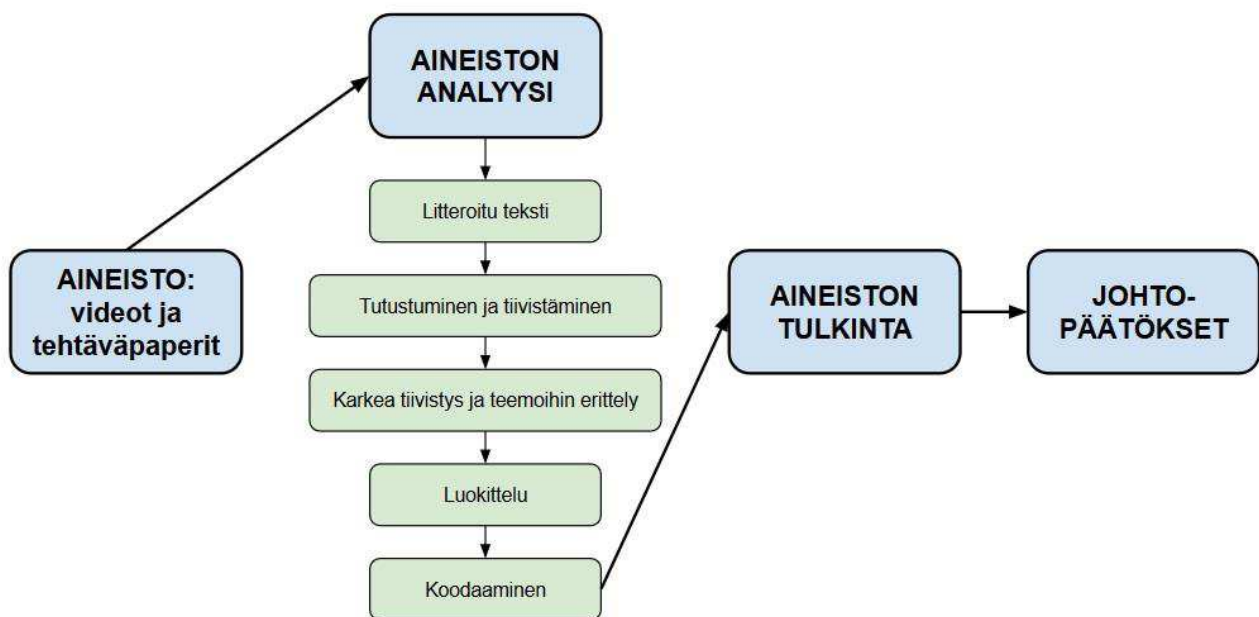
Vaiheittain esitettynä tutkimusaineiston analyysi etenee seuraavasti (Tuomi & Sarajärvi, 2002, s.109):

- 1. haastattelujen kuunteleminen ja auki kirjoitus sana sanalta
- 1. haastattelujen lukeminen ja sisältöön perehtyminen
- 1. pelkistettyjen ilmausten etsiminen ja alleviivaaminen
- 2. pelkistettyjen ilmausten listaaminen
- 2. samankaltaisuuksien ja erilaisuuksien etsiminen pelkistetyistä ilmauksista
- 2. pelkistettyjen ilmausten yhdistäminen ja alaluokkien muodostaminen
- 2. alaluokkien yhdistäminen ja yläluokkien muodostaminen niistä
- 3. yläluokkien yhdistäminen ja kokoavan käsitteen muodostaminen

On tärkeää huomata, että jo aineistoon tutustuminen on iso osa analyysia. Analyysi etenee tutustumisen ja pelkistyksen jälkeen asioiden ryhmittelyyn, jonka pohjalta voidaan muodostaa lopulliset yläluokat ja kokoavat käsitteet. Redusointivaiheessa kerättyä aineistoa voidaan esimerkiksi tiivistää, pilkkoa osiin tai kokonaan karsia siitä pois tutkimukselle epäolennaiset osat. Tämän jälkeen klusterointivaiheessa aineistosta etsitään samankaltaisuuksia ja/tai eroavaisuuksia kuvaavia käsitteitä, jotka yhdistetään ja ryhmitellään tutkimukselle sopivalla tavalla. Tässä luokitteluvaiheessa aineisto usein tiivistyy, koska yksittäisiä asioita aletaan kutsua yleisimmillä käsitteillä. Klusterointivaiheen alaluokkien ja yläluokkien muodostamisella on tarkoitus luoda pohja viimeiselle vaiheelle eli abstrahoinnille. Viimeisessä vaiheessa aineistosta erotellaan tutkimuksen kannalta olennaisin ja muodostetaan kokoavia teoreettisia käsitteitä ja johtopäätöksiä. (Tuomi & Sarajärvi, 2002.)

6.2. Analyysin vaiheet

Analyysin vaiheet on esitelty kuvassa 7.



Kuva 7: Analyysin eteneminen aineistosta johtopäätöksiin. Nuolet kuvaavat työskentelyn etenemisen suuntaa. Varsinaiseen aineiston analyysiin kuuluneet vaiheet on kirjoitettu analyysilaatikon alle oikeaan etenemisjärjestykseen.

Litteroituihin teksteihin tutustuttiin aluksi kokonaisuutena ryhmä kerrallaan, jotta konteksti jokaisen ryhmän kohdalla olisi alusta asti selvä. Tämän jälkeen opiskelijoiden välillä pitkiäkin vuoropuheita tiivistettiin muutama olennaiseen virkkeeseen. Malli tehdystä analyysista on kuvassa 8. Ensimmäisessä vaiheessa tehty pelkistys on sarakkeessa nimeltä ”tiivistelmä”. Seuraavassa vaiheessa aineistoa klusteroitiin eli ryhmiteltiin. Ryhmittely tehtiin opiskelijanumeroittain, jotta yksittäisen opiskelijan käsityksien seuraaminen oli analyysin koonnin aikana helpompaa. Nämä löytyvät esimerkin O-alkuisista sarakkeista. Tehtyjen tiivistyksien pohjalta aineistoa pelkistettiin vielä lisää ja jaoteltiin se erilaisiin teemoihin eli

attribuutteihin, relaatioihin ja malleihin. Nämä löytyvät kuvasta 8 kaikki omina sarakkeinaan. Tarkemmat luokat, joihin kommentit purettiin, on avattu tarkemmin seuraavassa alaluvussa. Pelkistämisvaiheiden jälkeen vastaukset vielä koodattiin vastaamaan luokittelua.

Litteroitu	Tiivistelmä	O1	O2	O3	O4	Attribuutit	Relaatiot & kuvaukset	Malli
...								
O4: se tiedetään et ne kulut.. teho on sama	Lamppujen tehonkulutus on sama.				Tehonkulutus on vakio.	P1D1		
O1: eiku puolet... tehohan sen määrittelee sen kirkkauden eiks näin?	Tehonkulutus on puolet. Teho määrittelee lampun kirkkauden.	Teho määrittelee lampun kirkkauden.					p-k (4)	3
O3: mut eiks teho o vaan neljäsosa. Jännite puolittuu ja virta puolittuu	Teho pienenee jos jännite ja virta pienenevät.			Teho riippuu jännitteestä ja virrasta.		USD1, ISD1	p-u+i (3)	
O2: mä en tosta tehosta tiedä tarvitaanks sitä nyt tähän sitten ni varmaan siihen kirkkauteen	Tehoa tarvitaan lampun kirkkauteen.		Teho määrittelee lampun kirkkauden.				p-k (4)	
O1: eiks se nimenomaan								
O3: no mun mielestä se on vähän niinku yhteydessä siihen, että mitä tehokkaampi lamppu								
O1: mut puolittuiks jännite ja virta		Jännite ja virta puolittuvat?						
O4: siis jännite niin tota jännitehäviö menee puoleen eli tosta niinku jännite jännite-ero tos ((B)) on puolet siitä mikä jännite-ero on täällä ((A))	Jännite-ero on puolet A:sta B:ssä.				Jännitehäviö puolittuu.	USD1		
O3: vaik yheksän voltia täs ((A)) sul on täs välis ((BC yli)) yheksän voltia ni tos on neljä puol						U8		
O1: aivan aivan.								
O3 sit jos sul on tos vaik								
O1: eiks virta oo								
O4 virta on puolet kanssa koska resistanssi tuplaantuu	Virta puolittuu jos resistanssi tuplaantuu.				Virta pienenee, jos resistanssi kasvaa.	ISD1, R6D1	1/i-r (1)	
...								

Kuva 8: Aineiston analyysia ensimmäisessä tehtävässä. Taulukon ensimmäisessä sarakkeessa on litterointi ja seuraavaksi litteroinnin perusteella tehty karkea tiivistys sarakkeessa "tiivistelmä". Seuraavissa sarakkeissa tiivistys on luokiteltu oikean opiskelijan kohdalle, jonka jälkeen se on analyysia noudattaen koodattu sarakkeisiin attribuutit, relaatiot ja mallit.

6.3. Analyysiin valitut luokat

Analyyisin tavoitteena oli etsiä käsitteitä, niihin liittyviä attribuutteja sekä tunnistaa käsitteiden välillä olevia relaationaalisia ja kausaalisia suhteita. Opiskelijoiden pohdinnat on näiden ennakko-oletuksien perusteella luokiteltu erilaisiin luokkiin ja ryhmiin. Lopulliset tulkinnat on kuitenkin muodostettu tutkimuksen aineiston pohjalta, vaikka analyysiin ryhdyttäessä oli aiemman tutkimuksen valossa oletuksia saatavista tuloksista (ks. Saari, 2013).

6.3.1. Attribuutit ja rajoittavat skeemat

Analyysissä kiinnitettiin aluksi huomiota opiskelijoiden käyttämiin käsitteisiin. Kun käsitteet oli tunnistettu, etsittiin attribuutteja eli kuvailevia sanoja, joita opiskelijat käyttivät käsitteiden yhteydessä. Tutkimuksessa havaitut käsitteisiin liitetty attribuutit on luokiteltu taulukossa 1. Muutamille attribuuteille laajennettiin analyysia nk. rajoittavien skeemojen avulla. Attribuutit koodattiin numeroilla, joita käytettiin apuna analyysin koodauksen lyhentämisessä. Attribuutin numero määritti sen, mikä attribuutti yhdistettiin milloinkin tiettyyn käsitteeseen. Esimerkiksi jos opiskelija selitti, että ”virta on sama sarjaan kytkettyjen lamppujen läpi”, se merkittiin koodauksessa merkein l1d1, jossa l tarkoittaa virtaa ja 1 attribuuttia ”on sama”. Jälkimmäinen merkintä ”d1” kuvaa tarkemmin attribuutin käyttöyhteyttä, eli tässä tapauksessa sarjaan kytkentää. Näitä kontekstia kuvaavia merkintöjä voidaan kutsua siis myös rajoittaviksi skeemoiksi ja ne on koodattu analyysissä merkein d1-d3. Rajoittavia skeemoja tarvitaan, jotta yksittäisistä attribuuteista voidaan saada enemmän informaatiota. Yksinään esimerkiksi juuri attribuutti a1 ”on sama ” tai a2 ”jakautuu” ei ole kovinkaan kuvaava, jos tilanteesta ei tiedetä enempää. Tämän vuoksi analyysissä on tarkasteltu myös sitä, missä kontekstissa attribuutit tulevat ilmi. Rajoittavien skeemojen voidaan toisaalta ajatella olevan myös alemman asteen relaationaalisia skeemoja. Ne eivät yksinään vielä kerro käsitteiden suhteista toisiinsa, mutta kertovat kuitenkin sen, missä tilanteissa tietyt käsitteet usein liitetään toisiinsa.

Attribuuttien avulla voidaan tarkkailla myös käsitteiden eriytyneisyyttä. Jos opiskelija liittää useita samoja attribuutteja eri käsitteisiin, havaitaan, että käsitteet keskenään eivät ole opiskelijan mielessä kovinkaan eriytyneet, vaan ne mielletään todennäköisesti merkitykseltään samaksi.

Taulukko 1: Koodaukseen käytetyt käsitteisiin liitetyt attribuutit ja rajoittavat skeemat sekä esimerkkejä niiden käytöstä.

Esimerkeissä attribuuttien ensimmäinen kirjain (I, U, R, P) tarkoittaa käsitettä, johon kyseinen attribuutti on yhdistetty.

	Attribuutti		Rajoittavat skeemat	Esimerkki aineistosta
a1	on sama, säilyy	d1 d2	sarjaankytkennässä rinnankytkennässä	I1(d1): "täällä kaikkialla kun on tällein sarjaankytkentä, nii täällä on kaikkialla sama virta" (O8) P1(d2): "sen tehonhan on sit oltava kuitenkin sama.. tääl (A) ja tuol rinnankytkennässä DE." (O13)
a2	jakautuu	d1 d2	sarjaankytkennässä rinnankytkennässä	I2(d2): "tos kohassa täytyy käydä niin että toi virta jakaantuu noihin kahteen ja potentiaalit on samat ni sit se varmaan jakautuu tasaisesti" (O3)
a3	vähenee, kuluu	d3	suuntautuneesti	U3: "näa molemmat lamput kuluttaa sen saman verran jännitettä" (O14)
a4	summautuu	d3	suuntautuneesti	I4: "se ulostuleva virta niinku pitää olla sama ku näitten virtojen summa" (O11)
a5	pienempi	d1 d2	sarjaankytkennässä rinnankytkennässä	P5(d2): "näis rinnankytketyis lampuis on pienempi toi teho ni näa palaa himmeemmin" (O15)
a6	isompi	d1 d2	sarjaankytkennässä rinnankytkennässä	R6(d1): "mä olin aluks sitä mieltä et ne palaa kaikki yhtä kirkkaasti, mut sithän mä muistin et ehkä tos on kuitenkin enemmän vastusta tässä jälkimmäises piirissä" (O1)
a7	virtaa, kulkee, menee			I7: "mitä suurempi vastus ni sitä enemmän se vastustaa sitä virran kulkuu jolloin näa palaa palaa himmeemmin" (O15)
a8	on jonkin kahden pisteen välillä			U8: "B ja C -lamppujen välillä tapahtuu kuitenkin jännitehäviötä" (O11)
a9	on jossakin pisteessä			I9: "niin siis virta on kaksinkertainen tässä kohtaa, mutta täällä myöhemmin jakaantuu kahteen" (O2)

Attribuutti 1 kuvaa sitä, että jonkin suureen arvo säilyy eikä muutu. Tätä attribuuttia on tarkemmin määritetty rajoittavien skeemojen d1 ja d2 avulla, jotta tiedetään, onko kyse sarjaan vai rinnankytkennästä. Näitä attribuutteja käytettiin kaikkien käsitteiden kanssa. **Attribuutti 2** liittyy jakautumiseen ja sitäkin määritettiin tarkemmin rajoittavien skeemojen d1 ja d2 avulla. Esimerkiksi opiskelijat sanoivat, että sähkövirta jakautuu sarjaan kytkennässä. Osa opiskelijoista yhdisti tämän attribuutin sähkövirran lisäksi jännitteeseen. **Attribuutti 3** liitettiin useimmiten sähkövirtaan tai jännitteeseen. Opiskelija saattoi esimerkiksi sanoa, että ”sähkövirta kuluu piirissä”. Attribuuttia määritettiin tarkemmin tilannekohtaisesti rajoittavan skeeman d3 avulla, jos se opiskelijan puheessa tuli ilmi. Muutama opiskelija yhdisti tämän attribuutin myös sähkötehoon ja yksi resistanssiin. **Attribuutti 4** yhdistettiin useimmiten resistanssiin. Tätä attribuuttia määritettiin rajoittavan skeeman d3 avulla samoin kuin attribuuttia 3. Aiemmista tutkimuksista poiketen tällä kertaa vain yksi opiskelija yhdisti summautumisen jännitteeseen. **Attribuutit 5 ja 6** liittyivät usein käsitteiden vertailuun joidenkin tilanteiden välillä tai siihen että jokin kasvaa tai pienenee komponenttien lisääntyessä. Attribuutteja 5 ja 6 määritettiin tarkemmin rajoittavien skeemojen d1 ja d2 avulla. Näitä attribuutteja käytettiin kaikkien käsitteiden yhteydessä. **Attribuutti 7** kuvattiin useimmiten sähkövirran yhteydessä, mutta toisinaan opiskelijoiden puheessa myös jännite tai teho ”kulki” tai ”meni”. **Attribuutti 8** miellettiin usein jännitteen tai potentiaalin ominaisuudeksi, kuten jännite ”on jonkin kahden pisteen välillä”. Toisinaan opiskelijat keskustelivat myös virrasta (tai sen muutoksesta) jonkin kahden pisteen välillä. **Attribuutti 9** yhdistettiin useimmiten potentiaalin ominaisuudeksi ”on jossakin pisteessä”, mutta opiskelijoiden puheessa toisinaan myös virta tai jännite oli jossakin pisteessä.

6.3.2. Relaatonaaliset ja kausaaliset suhteet

Kausaalisia suhteita kuvattiin tutkimuksessa viidellä tavalla, jotka on esitelty jo aiemmin luvussa 2. Tutkimuksessa esiintyneet kausaaliset suhteet ovat nähtävillä taulukossa 2. Yksinkertaisin kausaalinen suhde C1 liittyy vain kaksi käsitettä toisiinsa. Useimmiten opiskelijat käyttivät suhdetta C1 liittäessään esimerkiksi virran ja resistanssiin toisiinsa. Suhde C2 liittyy jo kolme käsitettä toisiinsa ja kuvaa esimerkiksi Ohmin lakia, jonka mukaan virran ja jännitteen suhde on vakio eli resistanssi. Suhde C3 vaatii kahden tai kolmen käsitteen käyttöä ja kuvaa esimerkiksi Joulen lakia, jonka mukaan virta ja jännite määräävät lampun tehon. Kausaalinen suhde C3 määrittelee siis kolmannen käsitteen (teho) jo kahden tunnetun käsitteen (virta ja jännite) avulla. (Kokkonen, 2013; Kokkonen & Mäntylä, 2017.)

Taulukko 2: Tutkimuksessa havaitut käsitteiden (x, y ja z) väliset relaatiot kuvauksineen (ks. Kokkonen, 2013) ja esimerkkejä niiden käytöstä.

	Relaatio	Kuvaus	Esimerkki aineistosta
C1	$x \rightarrow y$	y tapahtuu, koska x y riippuu x:stä	<i>”resistanssi varmaankin pienenee näissä sen takia, että jos niiden läpi kulkee pienempi virta” (O17)</i>
C2	$x_z \rightarrow y$	y tapahtuu, koska x, kun z	<i>”sehän on luonnollista että tota tehonkulutus täs piiris menee puoleen, koska täältä tulee niinku samalla jännitteellä puolet vähemmän niinku varauksia per aikayksikkö ... nii tehonkulutus menee puoleen, koska virta menee (puoleen)” (O4)</i>
C3	$x, y \rightarrow z$	z tapahtuu, koska x ja y z riippuu x:stä ja y:stä	<i>”... piirissä kulkeva virta riippuu koko piirin resistanssista plus täst lähdejännitteestä.” (O8)</i>
C4	$x - y$	x:n ja y:n välillä on riippuvuussuhde, mutta ei kausaalisuhdetta	<i>”no ku siis niinku se jännitehäviö näiden ylihän on erilainen sen resistanssin takia.” (O11)</i>
C5	$x \rightarrow y \rightarrow z$	z tapahtuu, koska x, koska y	<i>”se lampun resistanssi on tota noin niin lämpötilan tai sitä kautta jännitteestä ja virrasta riippuvainen eli eli meneekö se sit tasan puoleen. Onko ne lamput juuri puolet himmeempiä sitten?” (O2)</i>

Opiskelijoilla havaittiin myös paljon käsitteiden välisiä relaatioita, joilla ei kuitenkaan ollut kausaalista suhdetta. Nämä yhteydet koodattiin analyysissä tunnuksella C4. Tunnuksen C4 alle on myös laitettu kaikki suorat kaavamaininnat, kuten $P = UI$ ja $U = RI$, joita opiskelijat käyttivät sellaisenaan selittämättä niitä tarkemmin. Muutamalla opiskelijalla oli myös korkeamman asteisia relaatiota, jotka kaikki ovat yhdistetty luokkaan C5. Nämä luokan C5 relaatiot olivat yhdistelmiä kausaalisista suhteista C1-C3. Attribuuttien ja relaationaalisten suhteiden lisäksi aineistosta tunnistettiin myös selitysmalleja, joiden perusteella hahmotetaan tarkemmin opiskelijoilla olevia yleisempiä käsityksiä sähkötehosta.

6.3.3. Selitysmallit

Opiskelijoilla havaittiin olevan virtapiirien toimintaa selittäessään samankaltaisia selitysmalleja kuin aiemmissa tutkimuksissa (vrt. Saari 2013). Useiden opiskelijoiden selitysmallit pohjautuivat joko täysin virtaan tai jännitteeseen. Tässä tutkimuksessa keskityttiin kuitenkin tarkemmin sähkötehoon liittyviin selitysmalleihin ja nämä selitysmallit on luokiteltu seitsemään eri kategoriaan.

- **Ensimmäinen ”yksinkertainen malli”** hyödyntää vain yksinkertaisia malleja kuten ”rinnankytketyt/sarjaankytketyt lamput käyttävät tehoa yhtä paljon”, jotka perustuvat tietoon tai

muistikuvaan jostakin tapahtumasta. Tämän mallin opiskelijat usein perustelivat väitteitään muistikuvilla aiemmista opinnoistaan sen tarkemmin erittelemättä mitä niistä muistivat. Ensimmäisessä mallissa ei ole havaittavissa attribuutteja eikä kausaalisuhteita tai relaatioita.

- **Toinen "lukumäärä-malli"** perustuu lamppujen lukumäärään. Tässä mallissa vain lamppujen lukumäärä merkitsee eikä rinnan- ja sarjaankytkennöillä ole väliä. Opiskelijat, jotka hyödynsivät selityksissään tätä mallia, sanoivat esimerkiksi, että "yksittäinen lamppu kuluttaa vähemmän tehoa" tai "tässä piirissä on enemmän lamppeja, joten tehonkulutus on suurempi". Toisessa mallissa on havaittavissa jonkin verran attribuutteja eri käsitteille, mutta ainoa käsitteiden välinen suhde on kausaalisuus lukumäärän ja kirkkauden välillä. Relaatioita tai muita kausaalisuhteita ei ole.
- **Kolmas "teho-kirkkaus-malli"** selittää tehon olevan suoraan lampun kirkkaus. Lamppujen teho on tässä mallissa vakio, eikä liity millään tavalla piirin kuormaan. Komponenttien järjestyksellä kuitenkin on väliä, sillä tätä mallia käyttäneet opiskelijat kokivat, että jompaakumpaa jännitelähteen napaa lähempänä oleva lamppu kulutti suuremman tehon. Osa tätä mallia käyttäneistä opiskelijoista oli myös sitä mieltä, että lamppuun kirjoitettu wattimäärä on yksiselitteisesti lampun kirkkaus, eikä mikään muu vaikuta siihen. Tässä mallissa opiskelija käyttää vain yksinkertaisimpia eli tason C1 relaatioita, mutta ei välttämättä oikeiden käsitteiden yhteydessä tai oikeassa järjestyksessä.
- **Neljännessä "kaava-mallissa"** opiskelija osaa mainita laskukaavat $P=UI$ ja $U=RI$ ulkoa opittuina kaavoina, mutta ei osaa soveltaa niitä. Käsitteet teho, virta, jännite ja resistanssi eivät juurikaan eroa toisistaan, mutta opiskelija käyttää käsitteiden yhteydessä attribuutteja. Tässä mallissa esiintyy kausaalisia suhteita, mutta tätä mallia käyttäneillä opiskelijoilla ei ollut havaittavissa tarkempia relaationaalisia suhteita käsitteiden välillä. Tätä mallia käyttäneet opiskelijat perustelivat vastauksensa lähes poikkeuksetta fraasilla "tämä kaava antaa tällaisen vastauksen" sen enempää kertomatta mitä saatu lukuarvo tarkoittaa.
- **Viides "resistanssiton malli"** perustuu laskukaavaan $P=UI$, eikä ota ollenkaan huomioon resistanssin vaikutusta sähkötehoon. Teho määräytyy tässä mallissa vain virran ja jännitteen avulla. Opiskelijalla on kausaalisia suhteita sekä eritasoisia relaatioita käsitteiden teho, virta ja jännite välillä. Käsitteiden yhteydessä käytetään attribuutteja useimmiten oikein.
- **Kuudes "jännitteetön malli"** perustuu viidennen mallin tapaan laskukaavaan $P=RI^2$, mutta opiskelija ei selvästi mainitse jännitteen vaikutusta tehoon. Teho määräytyy tämän mallin mukaan vain resistanssin ja virran avulla. Opiskelijalla on kausaalisten suhteiden lisäksi eritasoisia relaatioita käsitteiden teho, resistanssi ja virta välillä. Tässä mallissa käsitteiden yhteydessä käytetään attribuutteja useimmiten oikein.
- **Seitsemäs "ohm-malli"** on kattavin ja sisältää eniten kausaalisuhteita ja relaatioita. Tässä mallissa opiskelija osaa soveltaa opittuja laskukaavoja monin tavoin ja käyttää sujuvasti (ja oikein) virtaa,

resistanssia ja jännitettä tehon määrittämiseen. Käsitteet virta, resistanssi, jännite ja teho ovat hyvin eriytyneitä ja niitä kuvataan erilaisin attribuutein. Opiskelija käyttää myös korkeamman asteen relaatiota eri käsitteiden välillä.

Kaikki selitysmallit eivät ole täysin toisiaan pois sulkevia ja saattavat sisältää lievää päällekkäisyyttä toisen mallin kanssa. Joillakin opiskelijoilla havaittiin myös useampia eri selitysmalleja, mikä yleensä johtui siitä, että he muuttivat käsitystään kesken tehtävän tai he käyttivät eri mallia selittäessään eri tilannetta.

7. Tulokset

Opiskelijoiden keskustelua sähkötehosta tarkasteltiin useasta eri näkökulmasta, jotta heidän käsityksiään voitiin kuvata mahdollisimman kattavasti. Haastatteluaineistoa tarkasteltiin rajatuista näkökulmista, joita tässä tutkimuksessa olivat opiskelijoiden käyttämät käsitteet sähkötehon yhteydessä, käsitteisiin liitetyt attribuutit eli ominaisuudet sekä käsitteiden väliset kausaaliset ja relaationaaliset suhteet. Näiden pienempien kokonaisuuksien pohjalta tehtiin yleisempi luokittelu, jonka pohjalta eri selitysmallit on hahmoteltu. Analyysin yhteydessä on esitelty tässä työssä käytetyt selitysmallit.

Tutkimuksessa opiskelijoilla havaittiin olevan eritasoisia selitysmalleja. Suurimman osan tutkimukseen osallistuneista yliopisto-opiskelijoista muodostivat he, joiden käsitys sähkötehosta ei ole kovinkaan yksityiskohtainen, vaan perustuu lähinnä ulkoa opittuihin asioihin, kuten kaavoihin. Nämä opiskelijat sekoittivat sähkötehon käsitteen myös usein resistanssin ja virran kanssa tai käyttivät näitä keskenään ristiin tarkoittaen samaa asiaa.

Opiskelijoilla oli toisinaan myös keskenään hieman ristiriitaisia selitysmalleja, jotka tulivat usein ilmi eri tehtävien aikana. Joidenkin opiskelijoiden kohdalla yksittäisen kattavan selitysmallin päättely oli vaikeaa, sillä heillä oli piirteitä useista malleista. Näiden kahden edellä esitetyn luokan opiskelijoiden käsityksistä oli vaikeaa tehdä tarkkaa yleistystä. Tulokset on yleistetty mahdollisimman pitkälle tarkkuuden antamissa rajoissa.

7.1. Vastaus tutkimuskysymykseen 1: Käsitteet ja attribuutit

Opiskelijoiden keskusteluista havaittiin heidän käyttävän sähkötehon yhteydessä käsitteitä virta, jännite, resistanssi, teho, potentiaali, lampun kirkkaus, lampujen lukumäärä, energia ja sähkö. He käyttivät myös muita käsitteitä, mutta ne ovat luokiteltavissa johonkin edellä mainittuun kategoriaan. Esimerkiksi käsite jännite-ero voidaan luokitella samaan käsitteen jännite kanssa. Opiskelijat käyttivät myös jäsentymättömiä ilmauksia, kuten se tai joku, mutta ne luokiteltiin samaan ryhmään käsitteen sähkö kanssa. Analyysissa käsitteiksi hyväksyttiin myös ilmaukset lampujen lukumäärästä tai kirkkaudesta, sillä niistä puhuttiin hyvin samalla tavoin kuin oikeista fysikaalisista käsitteistä.

Kaikki käyttivät virtapiirien toiminnan selityksissään käsitettä virta ja suurin osa myös käsitteitä jännite ja resistanssi. Vain noin puolet opiskelijoista hyödynsi tehon tai potentiaalın käsitettä. Noin kolmannes opiskelijoista puhui jossain vaiheessa selityksissään ”sähköstä”, joka tekee jotakin tai on jonkinlainen. Opiskelijat liittivät käsitteitä toisinaan myös hieman epätavallisiin ominaisuuksiin, kuten teho on jonkin kahden pisteen välillä (*attr. P8*), jännite summautuu (*U4*) tai teho kulkee (*P7*).

Taulukossa 3 on opiskelijoiden käyttämät käsitteet ja attribuutit ensimmäisessä haastattelussa. Ensimmäisessä sarakkeessa on käsite ja seuraavissa kaikki attribuutit. Taulukkoon on merkitty

rasti, jos kyseistä käsite ja attribuutti -yhdistelmää on käytetty tehtävässä. Jos laatikossa ei ole rastia, kyseistä attribuuttia ei ole käytetty käsitteen yhteydessä siinä tehtävässä. Taulukossa 4 on toisen haastattelun attribuutit ja taulukossa 5 kolmannen haastattelun attribuutit. Useimmin käytetyt attribuutit liittyvät virtaan, jännitteeseen sekä resistanssiin.

Taulukko 3: Attribuutit ensimmäisessä haastattelussa. Taulukon riveillä on käytetyt käsitteet ja sarakkeissa eri attribuuttien numerot. Sarakkeessa on rasti, jos kyseistä käsite+attribuutti -yhdistelmää on käytetty tehtävässä. Taulukkoon on korostettu värillisellä taustalla ne attribuutit, joita tehtävän aikana käytti useampi kuin viisi opiskelijaa.

KÄSITE	1D1	1D2	2D1	2D2	3	3D3	4	4D3	5D1	5D2	6D1	6D2	7	8	9
virta	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
jännite	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x		x	x
resistanssi	x	x		x			x	x	x	x	x	x			
teho	x	x			x				x	x	x	x		x	
"sähkö"			x	x	x			x					x		
potentiaali		x												x	x

Taulukko 4: Attribuutit toisessa haastattelussa. Taulukon riveillä on käytetyt käsitteet ja sarakkeissa eri attribuuttien numerot. Sarakkeessa on rasti, jos kyseistä käsite+attribuutti -yhdistelmää on käytetty tehtävässä. Taulukkoon on korostettu värillisellä taustalla ne attribuutit, joita tehtävän aikana käytti useampi kuin viisi opiskelijaa.

KÄSITE	1D1	1D2	2D1	2D2	3	3D3	4	4D3	5D1	5D2	6D1	6D2	7	8	9
virta	x	x		x				x	x	x	x	x	x		x
jännite	x	x	x						x					x	x
resistanssi						x		x		x	x	x			
teho	x								x		x	x			
"sähkö"													x		
potentiaali														x	

Taulukko 5: Attribuutit kolmannessa haastattelussa. Taulukon riveillä on käytetyt käsitteet ja sarakkeissa eri attribuuttien numerot. Sarakkeessa on rasti, jos kyseistä käsite+attribuutti -yhdistelmää on käytetty tehtävässä. Taulukkoon on korostettu värillisellä taustalla ne attribuutit, joita tehtävän aikana käytti useampi kuin viisi opiskelijaa.

KÄSITE	1D1	1D2	2D1	2D2	3	3D3	4	4D3	5D1	5D2	6D1	6D2	7	8	9
virta	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x
jännite	x	x	x		x	x	x			x			x	x	x
resistanssi	x						x	x	x	x	x				
teho	x	x							x		x		x		
"sähkö"					x								x		
potentiaali														x	x

Yleisimmät sähkövirtaan liitetyt attribuutit olivat a1: on sama, säilyy (sarjassa/rinnan), a2: jakautuu (rinnankytkennässä), a5: pienempi (sarjassa/rinnan), a6: isompi (rinnankytkennässä) sekä a7: virtaa, kulkee, menee. Attribuuttia 7 käytettiin usein myös käsitteen "sähkö" yhteydessä, jolla todennäköisesti opiskelija on tarkoittanut sähkövirtaa. Virtaan liitetyt attribuutit "on sama sarjaankytkennässä" (1d1) tai "jakaantuu rinnankytkennässä" (1d2) viittaavat Kirchhoffin ensimmäiseen lakiin. Puhekielisesti on myös helppo sanoa sähkövirran "kulkevan" tai "menevän", mutta pelkästään tämän ilmaisun perusteella on mahdotonta päätellä tarkemmin, kuinka opiskelija mieltää kyseisen käsitteen mielessään.

Jännitteeseen liitettiin yleisimmin attribuutit a1: on sama, säilyy (sarjassa/rinnan) sekä a8 on jonkin kahden pisteen välillä. Opiskelijoilla tuntui olevan vahva näkemys siitä, että jännite pysyy aina samana kytkennästä riippumatta. Osa opiskelijoista, jotka käyttivät jännitteen kanssa attribuuttia a2: jakautuu (sarjassa/rinnan) sanoivat myös jännitteen olevan a5: pienempi tai a6: isompi sarjaan tai rinnankytkennässä.

Resistanssia opiskelijat kuvailivat useimmin sanoilla a5: pienempi (rinnan) sekä a6 isompi (sarjassa). Useimmilla opiskelijoilla tuntui esiintyvän juurikin nämä kaksi attribuuttia samaan aikaan. Myös hieman yllättäen aiemmin saaduista samankaltaisista tutkimuksista (ks. Saari 2013) poiketen attribuutti a4: summautuu (tarvittaessa rajoittavalla skeemalla d3: suuntautuneesti) nousi tutkimuksessa esiin. Tätä tulosta saattaa tosin selittää tehtävä, jossa tuli tarkastella resistanssiltaan erilaisten lamppujen käyttäytymistä.

Sähkötehoon liitettiin attribuutteja kuten a1: on sama, säilyy (sarjassa/rinnan), a5: pienempi (sarjassa/rinnan) sekä a6: suurempi (sarjassa/rinnan). Yleisimmät sähkötehoon liittyneet attribuutit liittyivät säilymiseen tai muuttumiseen eri kytkennöissä. Sähkötehosta puhuttiin hyvin abstraktisti ja se tuli useimmilla ryhmillä selvästi mieleen vasta sen jälkeen, kun ensimmäiset ehdotelmät virtapiirien toiminnalle oli jo ehdotettu. Opiskelijoilla oli paljon vähemmän kuvailevia sanoja sähköteholle, kuin muille keskeisille käsitteille, mutta muutama ryhmistä ei käsitellyt sähkötehoa ollenkaan tehtäviä ratkaistessaan. Tämä näkyy myös luonnollisesti attribuuttien vähytenä sähkötehon kohdalla muihin käsitteisiin verrattuna.

Pääsääntöisesti on huomattavissa, että ensimmäisessä haastattelussa opiskelijat käyttivät attribuutteja paljon enemmän kuin kahdessa seuraavassa haastattelussa. Jokaisessa ryhmässä oli myös henkilöitä, jotka puhuivat selvästi enemmän kuin muut, joten kaikkien yksittäisten opiskelijoiden käsitykset eivät välttämättä kokonaisuudessaan päässeet haastattelutilanteessa esiin. Kolmas haastattelu oli yhdistelmä ensimmäisen ja toisen haastattelun kokonaisuuksista, joten sitä usein ratkaistiinkin muistelemalla, miten viimeksi tehtävää pohdittiin tai sitä tehdessä havaittiin lamppujen käyttäytymisestä.

Useilla opiskelijoilla havaittiin olevan vaikeuksia erottaa käsitteet virta ja jännite toisistaan. Nämä kaksi käsitettä yhdistyivät usein samoihin attribuutteihin opiskelijoiden selityksissä. Opiskelijat myös sekoilivat sanoissaan ja toisinaan korjasivat väärin sanomaansa, vaikka alun perin meinasivat sanoa käsitteet oikein oikeassa yhteydessä. Myös sähkötehon käsite sekoittui usein jännitteen kanssa. Resistanssia osattiin käsitellä usein itsekseen, mutta senkään suhtautumista muihin piirin osasiin ei välttämättä osattu tunnistaa oikein, mikä näkyy myös attribuuteissa. Tutkimuksen perusteella vaikuttaisi siis siltä, että opiskelijoilla on erityisesti vaikeuksia juuri jännitteen käsitteen tunnistamisen kanssa. Opiskelijoiden käsitteiden yhteydessä käyttämistä attribuuteista voidaan päätellä kuinka toisistaan eriytyneitä käsitteet ovat heidän mielessään. Esimerkiksi opiskelija O10 käyttää täysin samoja attribuutteja (a1d1, a2d2, a5d1 ja a8) sekä virralle että jännitteelle, joten hän ei todennäköisesti erota käsitteitä toisistaan.

7.2. Vastaus tutkimuskysymykseen 2: Käsitteiden väliset relaatiot ja kausaaliset suhteet

Opiskelijoiden käyttämien käsitteiden välillä havaittiin erilaisia relaatioita. Usein relaatiot olivat kahden asian välillä, kuten suurempi resistanssi - pienempi teho. Tätä relaatiota kuvataan kuvassa 1 nimellä C1. Kahden muuttujan väliset relaatiot olivat selvästi yleisempiä verrattuna useamman muuttujan välisiin relaatioihin. Keskusteluista löydettiin kuitenkin myös kolmen asian välisiä relaatioita, kuten suurempi resistanssi - pienempi teho, kun jännite on vakio. Näitä relaatioita on kuvattu kuvassa 1 nimellä C2. Jonkin verran erityisesti opittujen kaavojen, kuten $P=UI$, yhteydessä opiskelijat käyttivät kuvan 1 relaatiota C3, jossa kaksi asiaa vaikuttavat kolmanteen. Esimerkiksi

”tää termi (P) menee neljäsosaan ku virta puolittuu plus et jos tää (R) viel pienenee niin silloin teho menee neljäosaan.” (opiskelija 16)

Kaikki analyysissa ilmenneet kausaaliset suhteet, eli kategoriaan C4 luokitellut yhteydet, ovat taulukossa 6. Näillä pareilla ei ole syy-seuraus-suhdetta, joten kategorian C4 käsitteiden esiintymisjärjestyksellä ei ole väliä. Nämä yksinkertaiset relaatiot esiintyivät yleensä molemmiin päin opiskelijoiden selityksissä, vaikka ovatkin taulukossa 6 yhdistetty samaan sarakkeeseen. Taulukossa on korostettu värillisellä pohjalla ne relaatiot, joita käytettiin eniten. Selvästi yleisimpiä olivat laskukaavoistakin ilmitulevat relaatiot $p - u + i$, $u - r + i$ ja erilaiset näiden sovellukset $p - i + r$, $i - u + r$ sekä $p - u + r$. Myös näitä yhdistelmiä yksinkertaisempiakin relaatioita oli havaittavissa paljon.

Relaatiotaulukoissa merkintä ”i” tarkoittaa virtaa, ”u” jännitettä (tai jännite-eroa, potentiaaliero), ”r” resistanssia (tai vastusta), ”p” sähkötehoa ja ”t” potentiaalia. Taulukkoon on hyväksytty myös käsitteet ”k” kirkkaus, ”c” lämpötila, ”e” energia ja ”s” sähkö, sillä niistä puhuttiin hyvin samoin kuin aiheeseen suoranaisesti liittyvistä fysikaalisista käsitteistä. Muutama opiskelijoista käytti epämääräisiä yhteyksiä esimerkiksi kirkkauden ja sähkö, jännitteen ja sähkö sekä kirkkauden ja energian välillä, joista huomaa selvästi, että heidän käsitteensä eivät ole kovinkaan toisistaan eriytyneitä. Muutama ryhmä oli sitä mieltä, että lämpötila (c) on avainasemassa kirkkausjärjestyksen määrittämisessä ja tämä näkyy myös käytetyissä kausaalisissa suhteissa.

Taulukko 6: Tutkimuksessa havaitut kausaaliset suhteet eri käsitteiden (teho, virta, jännite jne.) välillä haastattelutehtävissä 1-3. Käsitteiden ilmenemisjärjestyksellä ei ole väliä, sillä kausaalisuuteen ei liity relaationaalista suhdetta. Taulukkoon on korostettu värillisellä taustalla ne kausaalisuudet, joita tehtävän aikana käytti useampi kuin viisi opiskelijaa.

C4	p-ui	u-ri	p-ir	i-ur	p-ur	k-iu	r-i	r-u	r-k	u-i	u-k	p-k	p-i	p-r	p-u	k-s	u-s	k-e	k-i	r-c	p-c	k-c	i-c	u-c
Teht. 1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x
Teht. 2	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x						x		x			
Teht. 3	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x					x		x					

Tutkimuksessa tunnistettiin kuitenkin myös sellaisia kausaalisia suhteita, jossa käsitteiden järjestyksellä on väliä. Näitä merkityksellisiä kausaalisia suhteita kutsutaan relaationaalisiksi suhteiksi.

Esimerkiksi parit " $u-i$ " ja " $i-u$ " tarkoittavat kahta eri asiaa, toinen että jännitteestä seuraa virta ja toinen että virrasta seuraa jännite. Yleisin relaationaalinen suhde, joka opiskelijoiden selityksissä havaittiin, oli juuri kahden käsitteen välillä ja nämä kaikki on taulukossa 7 kategorian C1 alla. Taulukossa on yhdistetty kahden käsitteen parit samaan sarakkeeseen, mikäli näitä yhdistelmiä on havaittu molempiin suuntiin. Esimerkiksi ensimmäisessä sarakkeessa ylimmällä rivillä lukee merkintä $u-r/r-u$. Sen alapuolisella rivillä on merkintä x/x , joka tarkoittaa, että haastattelutehtävässä 1 on esiintynyt sekä relaatiota $u-r$, että relaatiota $r-u$. Kolmannen tehtävän rivillä samassa sarakkeessa on merkintä $/x$, joka tarkoittaa, että relaatiota $u-r$ ei ole havaittu tehtävässä ollenkaan, mutta relaatiota $r-u$ on esiintynyt. Taulukko 7 on jaettu kahteen osaan, joista ylempänä on oikeat aihepiiriin liittyvät fysikaaliset käsitteet ja alempana ovat ne muut hieman kyseenalaiset käsitteet, joita opiskelijat käyttivät. Tuloksista on havaittavissa, että erityisesti käsite "kirkkaus" sai toistuvasti relaatioparikseen sekä jännitteen, resistanssin, tehon että virran. Opiskelijoilla ei ollut selvästi tarkkaa käsitystä siitä, mitkä piirin ominaisuudet vaikuttavat kirkkauteen, vaan he tarjosivat vuoron perään kaikkia löytääkseen jonkin, joka selittää havainnot.

Taulukko 7: Kahden käsitteen väliset C1 tyyppin relaatiot tehtävissä 1-3. Käsitteiden ilmenemisjärjestys määrää relaation suunnan. Taulukkoon on korostettu värillisellä pohjalla yleisimmin käytetyt kahden käsitteen väliset relaatiot.

C1	$u-r / r-u$	$p-u / u-p$	$i-p / p-i$	$r-p / p-r$	$1/p-r / r-1/p$	$1/r-p / p-1/r$	$i-u / u-i$	$1/r-i / i-1/r$	$1/i-r / r-1/i$	$r-i / i-r$	$u-1/p$	$1/u-r$	$1/r-u$	$t-p$	$i-t$
Teht. 1	x/x	$/x$	x/x				$x/$	x/x	x/x	x/x		x		x	x
Teht. 2	x/x	$x/$	x/x	x/x	$/x$		$x/$	x/x	$/x$		x			x	
Teht. 3	$/x$	x/x	$/x$	$x/$	x/x	x/x	$/x$	$x/$	$/x$				x		
C1	$u-k / k-u$	$r-k / k-r$	$1/r-k / k-1/r$	$1/k-r / r-1/k$	$p-k / k-p$	$k-i / i-k$	$c-r / r-c$	$lkm-p / p-lkm$	$s-u$	$k-e$	$c-i$	$i-s$	$lkm-s$		
Teht. 1	x/x	x/x	x/x	$/x$	x/x	x/x	x/x	$/x$	x	x	x	x	x		
Teht. 2	x/x	$x/$	x/x	$/x$	$x/$	x/x		$x/$							
Teht. 3	$/x$	$/x$	x/x	x/x	x/x	x/x									

Myös kolmen käsitteen relaatioita havaittiin ja nämä on luokiteltu luokkiin C2 ja C3 relaatioiden kuvauksia kuvassa 1 mukaillen. Taulukossa 8 on tutkimuksessa esiintyneet kategorian C2 relaatiot ja taulukossa 9 on eritelty esiintyneet kategorian C3 relaatiot. Relaatioissa C2 merkintätapa " $i - u$, kun r " tarkoittaa, että virta kasvaa jännitteen kasvaessa, silloin kun resistanssi on vakio. Merkintä " $1/i - r$, kun u " tarkoittaa, että virran pienentyessä resistanssi kasvaa, kun jännite on vakio. Relaatioissa C3 merkintätapa " $p - u+i$ " tarkoittaa, että teho riippuu jännitteestä ja virrasta.

Kategorian C2 relaatioita on havaittavissa paljon enemmän kuin kategorian C3 relaatioita, josta voidaan päätellä, että todennäköisesti opiskelijoiden on helpompi tunnistaa ja luoda kategorian C2:n mallisia relaatioita. Kolmen käsitteen välisiä relaatioita ei osannut käyttää kuin noin viidennes tutkimukseen osallistuneista opiskelijoista. Taulukosta 9 on esimerkiksi nähtävissä, että opiskelija tiesi kirkkauden määräytyvän resistanssin ja virran perusteella ($k - r+i$), mutta ei osannut tarkemmin nimetä yksittäistä käsitettä kuvaamaan tätä yhteyttä.

Taulukko 8: Kategorian C2 relaatiot haastattelutehtävissä 1-3. Käsitteiden järjestys määrää relaation suunnan. Esimerkiksi merkintätapa "i-u, kun r" tarkoittaa, että virta muuttuu jännitteen muuttuessa silloin kun resistanssi on vakio. Sarakkeessa on rasti silloin kun kyseistä relaatiota on ilmennyt tehtävässä.

C2	i-u, kun r	u-i, kun r	u-p, kun i	p-u, kun i	p-i, kun u	i-p, kun u	r-p, kun i	p-r, kun i	1/i-r, kun u	r-1/i, kun u	1/r-i, kun u	r-u, kun i	p-i, kun r	p-1/r, kun i	r-1/p, kun u	r-k, kun i	k-i, kun r	k-i, kun u	1/k-r, kun u	r-1/k, kun u
Teht. 1	x	x			x	x		x	x	x			x							
Teht. 2	x		x	x		x	x	x			x	x	x		x	x	x	x	x	x
Teht. 3	x		x	x			x	x			x	x	x	x						

Taulukko 9: Kategorian C3 relaatiot haastattelutehtävissä 1-3. Käsitteiden järjestys määrää relaation suunnan. Esimerkiksi merkintä "p-u+i" tarkoittaa, että teho määräytyy jännitteen ja virran avulla. Sarakkeessa on rasti silloin kun kyseistä relaatiota on ilmennyt tehtävässä.

C3	p-u+i	p-i+r	k-r+u	k-r+i	k-u+i	u-r+i	1/r-i+k	i-u+r
Teht. 1	x	x		x	x	x		x
Teht. 2		x					x	
Teht. 3			x					

Luokassa C5 on kaikki korkeamman asteen relaatiot, jotka useimmiten olivat kolmen tai neljän käsitteen välisiä yhdistelmiä relaationaalisista suhteista C1 ja C3. Taulukossa 10 ovat ne muutamat tutkimuksessa löydetty korkeamman asteen relaatiot, jotka tosin lähes kaikki liittyvät jollakin tavalla lämpötilaan. Korkeamman asteen relaatiot viimeistä ($k - u+r+i$) lukuun ottamatta tulivat ilmi yhden ryhmän keskustelun aikana haastattelutehtävässä 1. Muut ryhmät eivät käyttäneet missään vaiheessa vaikeampia relaatioita kuin C2 tai C3. Näitä relaatioita ei myöskään havaittu ollenkaan tehtävien 2 tai 3 aikana. Taulukossa 10 on mukana opiskelija (O13), joka sanoi kirkkauden määräytyvän jännitteen, resistanssin ja virran avulla ($k - u+r+i$), mutta hän ei missään vaiheessa maininnut ensimmäisen haastattelun tehtäviä ratkaistessaan sähkötehon käsitettä muiden käsitteiden yhteydessä. Taulukossa 10 on myös opiskelija (O2), joka sanoo resistanssin määräytyvän lampun kirkkaudesta, joka taasen määräytyy jännitteen ja virran avulla. Vaikuttaa siltä, että opiskelija ei ehkä tunnista tai osaa nimetä sähkötehoa oikein ja käyttää tämän vuoksi selityksissään lämpötilaa apuna.

Taulukko 10: Korkeamman asteen relaatiot tehtävissä 1-3. Nämä olivat usein yhdistelmiä alemman asteen relaatioista (C1 ja C3). Esimerkiksi merkintä $1/r-i-c$ tarkoittaa, että resistanssin pienentyessä virta kasvaa, jonka seurauksena kirkkaus kasvaa. Korkeamman asteen relaatioita ei havaittu muissa kuin ensimmäisessä tehtävässä.

C5	1/r-i-c	p-c-k	r-c-u+i	k-u+r+i
Teht. 1	x	x	x	x
Teht. 2				
Teht. 3				

Taulukkoon 11 on koottu kaikki opiskelijan (O8) käyttämät relaatiot toisen haastattelutehtävän aikana. Hänen käyttämiinsä ilmauksiin sisältyy lukuisia eri relaatioita kategorioista C1 ja C2. Taulukosta on huomattavissa, että useat kategorian C2 relaatiot sisältävät kokonaisuudessaan jonkin

kategorian C1 relaation, esimerkiksi relaatio (C2) " $p-u$, kun i " sisältää alemman asteisen relaation (C1) $p-u$. Näin ollen hänellä varmasti on useampia kategorian C1 relaatioita kuin hän puheessaan on ilmaissut. Esimerkiksi kategoriasta C1 ei löydy relaatiota $r-p$. Voimme kuitenkin olettaa, että opiskelijalla O8 on varmasti myös se, sillä hänellä on sen sisältävä korkeamman asteinen relaatio (C2) " $r-p$, kun i ". Katteoria C4 ei ole opiskelijan kannalta välttämättä mielenkiintoinen, sillä hän selvästi ymmärtää tarkemmin myös tehon yhteyden virtaan ja resistanssiin, vaikka hän selostuksessaan käyttää myös kausaalista suhdetta $u-ri$ ja sen osasia. Hänen käyttämistään relaatioista voidaan päätellä, että eri käsitteillä on erilaiset roolit virtapiirien toiminnassa.

Taulukko 11: Opiskelijan (O8) käyttämät relaatiot haastattelutehtävässä 2. Relaatioita tutkiessa tulee huomata, että kategoriassa C2 on useita relaatioita, jotka sisältävät itsessään luokan C1 puuttuvia relaatioita. Opiskelijalla on siis todennäköisesti korkeamman relaation lisäksi alemman asteen relaatio. Kategorioissa C1-C3 käsitteiden järjestyksellä on väliä, mutta ei kategoriassa C4 (kausaaliset suhteet).

C1	C2	C3	C4
$p-u$	$p-u$, kun i	$p-i+r$	$u-r+i$
$1/r-k$	$r-1/k$, kun u		$i-u$, $u-i$
$r-k$	$r-k$, kun i		$i-r$, $r-i$
$p-i$	$p-i$, kun r		$u-r$, $r-u$
$i-p$	$i-p$, kun u		
$k-i$	$k-i$, kun r		
$u-r$	$i-u$, kun r		
$r-1/i$, $1/r-i$, $i-1/r$	$r-p$, kun i		
$p-k$	$u-p$, kun i		
$t-p$			

7.3. Tutkimuskysymysten pohjalta muodostetut selitysmallit

Käsitteiden ja niihin liittyvien attribuuttien sekä relaatioiden avulla tunnistettiin opiskelijoilla olevan erilaisia selitysmalleja teholle. Taulukoihin 12-14 on koottu tehtävissä 1-3 opiskelijoilla havaitut selitysmallit, jotka on esitetty lyhyesti alla ja kuvattu tarkemmin luvussa 6.

- **Malli 1 "yksinkertainen":** yksinkertainen malli, joka perustuu tietoon tai muistikuvaan jostakin tapahtumasta.
- **Malli 2 "lukumäärä":** perustuu lamppujen lukumäärään.
- **Malli 3 "teho-kirkkaus":** selittää tehon olevan suoraan lampun kirkkaus.
- **Malli 4 "kaava":** $P=UI$ ja $U=RI$ mainitaan kaavoina, mutta ei osata soveltaa niitä.
- **Malli 5 "resistanssiton":** $P=UI$, resistanssi ei vaikuta sähkötehoon.
- **Malli 6 "jännitteeton":** $P=RI^2$, jännitteen vaikutusta tehoon ei mainita suoraan.
- **Malli 7 "Ohm":** soveltaa laskukaavoja ja käyttää tehon määrittämiseen käsitteitä virta, resistanssi ja jännite.

Kaikista taulukoista ei löydy jokaisen opiskelijan kohdalta selitysmallia, sillä he eivät välttämättä ole tehneet tehtävää ollenkaan tai he eivät ole käyttäneet sähkötehoa selittäessään virtapiirin toimintaa. Muutamilla opiskelijoilla on useampi rasti, jolloin heillä on esiintynyt piirteitä useasta eri selitysmallista. He ovat joko vaihtaneet malliaan tehtävän edetessä tai heillä on ollut vaihtoehtoisia malleja erilaisten tilanteiden selittämiseen. Esimerkiksi opiskelija O2 selitti aluksi tehoa lamppujen lukumäärän avulla mallilla 2, mutta vakuuttuessaan opiskelijan O1 selityksestä, hän jalosti malliaan numeroon 3, jossa teho onkin suoraan lampun kirkkaus. Tämän vuoksi hänellä on taulukossa 12 kaksi rastiä. Opiskelijalla O6 oli selvästi teho-kirkkaus -malli, mutta hänen kuvauksessaan oli piirteitä myös kaavojen käytöstä, joten hänellä on taulukossa 12 rasti sekä mallin 3 että 4 kohdalla. Ryhmät ovat usein olleet 3-4 hengen kokoisia. Jaottelusta on havaittavissa, että usein samoissa ryhmissä olleilla opiskelijoilla on ollut samankaltaisia selitysmalleja. Taulukkoihin on myös merkattu, mikäli opiskelija ei ole ollenkaan osallistunut tehtävään.

Taulukko 12: Selitysmallit ensimmäisessä haastattelussa. Taulukon sarakkeissa on selitysmallit 1-7 ja opiskelijalla on sen mallin kohdalla rasti, jota hän on käyttänyt selityksessään. Joillakin opiskelijoilla rasteja on useita; heillä on tällöin ollut piirteitä useammasta eri mallista tai he ovat vaihtaneet malliaan kesken tehtävän. Taulukkoon on korostettu vaakasuunnassa vaaleammalla ja tummemmalla pohjalla samoissa ryhmissä olleet opiskelijat.

Opiskelija	1	2	3	4	5	6	7
O1	x		x				
O2		x	x				
O3					x		
O4							x
O5							
O6			x	x			
O7		x		x			
O8						x	
O9							
O10							
O11				x			
O12							
O13		x	x				
O14			x	x			
O15		x	x	x			
O16					x		
O17	x		x	x			
O18		x					
O19							
O20							
O21							
O22	-	EI	OLE	TEHNYT	TÄTÄ	TEHTÄVÄÄ	-
O23	-	EI	OLE	TEHNYT	TÄTÄ	TEHTÄVÄÄ	-

Ensimmäisessä tehtävässä tulee esiin selkeästi se, että opiskelijat pyrkivät selittämään sähkötehoa yksinkertaisten mallien tai vain lamppujen lukumäärän avulla. Heillä ei ilmene kausaalisuussuhteita eikä juurikaan attribuutteja käsitteiden välillä. Useat opiskelijat muistavat kaavat $P=UI$ ja $U=RI$, mutta eivät osaa soveltaa niitä. Neljä opiskelijaa (O3, O4, O8 ja O16) perustelee tarkemmin käyttämänsä kaavan yhteyden fysiikkaan. Vain yksi opiskelija (O4) osaa soveltaa kaavoja monipuolisesti eri yhteyksissä.

Ensimmäinen tehtävä antaa kattavimman kuvan opiskelijoilla olleista käsityksistä, sillä tuloksista on havaittavissa, että jälkimmäisissä tehtävissä käsitykset ovat joidenkin kohdalla muuttuneet ryhmän käsitystä mukailevaksi. Ensimmäisessä tehtävässä opiskelija O11 ei ole ollut ryhmässä yksinään vaan kolmen muun kanssa, mutta tämä ryhmä ei käyttänyt ollenkaan sähkötehoa selittäessään lamppujen kirkkausjärjestystä. Vain opiskelija O11 mainitsi sähkötehon käsitteenä kaavojen yhteydessä ja on siksi ainoa ryhmästä, joka on saanut taulukkoon ristin.

Taulukko 13: Selitysmallit toisessa haastattelussa. Taulukon sarakkeissa on selitysmallit 1-7 ja opiskelijalla on sen mallin kohdalla rasti, jota hän on käyttänyt selityksessään. Joillakin opiskelijoilla rasteja on useita; heillä on tällöin ollut piirteitä useammasta eri mallista tai he ovat vaihtaneet malliaan kesken tehtävän. Taulukkoon on korostettu vaakasuunnassa vaaleammalla ja tummemmalla pohjalla samoissa ryhmissä olleet opiskelijat.

Opiskelija	1	2	3	4	5	6	7
O1	-	EI	OLE	TEHNYT	TÄTÄ	TEHTÄVÄÄ	-
O2							
O3						x	
O4							x
O16						x	
O5	x	x					
O6	x						
O7				x			
O8						x	
O9							
O10			x				
O11			x	x			
O12				x			
O13			x			x	
O14						x	
O15				x			
O17	-	EI	OLE	TEHNYT	TÄTÄ	TEHTÄVÄÄ	-
O18	-	EI	OLE	TEHNYT	TÄTÄ	TEHTÄVÄÄ	-
O19			x	x			
O20			x	x			
O21				x			
O23			x	x			
O22	-	EI	OLE	TEHNYT	TÄTÄ	TEHTÄVÄÄ	-

Toisessa tehtävässä analyysissa esiin tulleiden mallien määrä taulukossa vähenee selvästi ja esimerkiksi opiskelijat O2, O9 ja O12 eivät puhu juurikaan, vaikka osallistuvat tehtävän tekemiseen. He eivät joko kyseenalaista ollenkaan muiden ryhmäläisten käsitystä tai eivät vain sano omaansa ääneen. Tehtävässä 2 on resistanssiltaan erilaisia lampuja, joten selitysmalli 6 (teho määräytyy resistanssin ja virran avulla) nousee useassa ryhmässä vallitsevaksi malliksi. Opiskelija 16 on ollut samassa ryhmässä opiskelijoiden O2, O3 ja O4 kanssa ja on siksi nostettu korkeammalle toisen haastattelun taulukossa.

Taulukko 14: Selitysmallit kolmannessa haastattelussa. Taulukon sarakkeissa on selitysmallit 1-7 ja opiskelijalla on sen mallin kohdalla rasti, jota hän on käyttänyt selityksessään. Joillakin opiskelijoilla rasteja on useita; heillä on tällöin ollut piirteitä useammasta eri mallista tai he ovat vaihtaneet malliaan kesken tehtävän. Taulukkoon on korostettu vaakasuunnassa vaaleammalla ja tummemmalla pohjalla samoissa ryhmissä olleet opiskelijat.

Opiskelija	1	2	3	4	5	6	7
O1					x		
O2							
O3							
O4						x	
O5	-	EI	OLE	TEHNYT	TÄTÄ	TEHTÄVÄÄ	-
O6						x	
O7				x			
O8						x	
O9							
O10					x		
O11	-	EI	OLE	TEHNYT	TÄTÄ	TEHTÄVÄÄ	-
O12							
O13			x				
O14							
O15				x			
O16						x	
O17			x	x			
O18							
O19							
O20							
O21							
O22	x						
O23	-	EI	OLE	TEHNYT	TÄTÄ	TEHTÄVÄÄ	-

Tehtävässä 3 on tehtävien 1 ja 2 haastavimmat osat uudelleen. Tuloksista on havaittavissa, että vaikka opiskelijat edelliskerralla päätyivät jonkinlaiseen selitysmalliin, malli saattoi joidenkin kohdalla vaihtua täysin muutamaa päivää myöhemmin. Osa opiskelijoista palasi myös takaisin vanhaan (virheelliseen) selitysmalliinsa, vaikka olivat juuri edelliskerralla havainneet siinä olevan jotakin pielessä. Osa oli hyväksynyt uuden selitysmallin ilmiöille tai laajentanut aiemmin esittämänsä mallia.

Selitysmalleista on kaiken kaikkiaan havaittavissa, että yleisin sähkötehoon yhdistetty selitysmalli perustuu vain kaavojen käyttöön sen tarkemmin selittämättä, miten ne toimivat tai mitä ne tarkoittavat. Taulukoita katsellessa tulee kuitenkin muistaa, että epävarmuustekijöitä on paljon. Opiskelijoiden puheista ei kaikkien kohdalla ole välttämättä välittynyt kaikki tieto mitä heillä sähkötehoon liittyen on tai he eivät ole kyseenalaistaneet ryhmän mielipidettä äänekkäästi. Yksi opiskelija (O9) ei sano kolmen tekemänsä tehtävän aikana yhtään mitään aiheeseen liittyvää, joten hänen käsitystään on mahdoton tietää tässä tutkimuksessa käytetyin keinoin. Opiskelijat (O4 ja O8) puhuvat haastattelujen aikana paljon, joten heidän käsityksensä on siksi myös helpoiten määritettävä. Ainoastaan heidän käsityksistään saatiin tutkimuksessa selkeä kuva.

Opiskelijoiden keskustelu väheni huomattavasti ensimmäisen tehtävän jälkeen, joten voisi ajatella, että toinen ja kolmas tehtävä täydentävät ensimmäisessä tehtävässä ilmi tulleita käsityksiä. Taulukkoon 15 on koottu opiskelijoittain kaikki ilmenneet käsitykset tehtävissä 1-3. Esimerkiksi opiskelijat (O3 ja O16) käyttävät selitysmalleja 5 (teho määräytyy vain jännitteen ja virran avulla) ja 6 (teho määräytyy vain resistanssin ja virran avulla) eri tehtävissä, mutta ei milloinkaan samaan aikaan, joten siksi heille ei ole merkitty selitysmallia 7, vaikka se sisältää mallit 5 ja 6. Taulukosta 9 on havaittavissa, että selitysmallit eivät ole täysin toisiaan poissulkevia ja usealla opiskelijalla oli erilaisia selitysmalleja tehtävästä riippuen.

Taulukko 15: Kaikki esiintyneet selitysmallit tehtävissä 1-3. Taulukossa on selitysmallit 1-7 sarakkeittain ja numero sarakkeessa kertoo, missä haastattelutehtävässä kyseinen malli on tullut opiskelijalla ilmi. Taulukko on koostettu aiempien taulukoiden tulosten perusteella. Selvästi yleisin opiskelijoiden käyttämä selitysmalli on ”kaavamalli” 4.

Opiskelija	1	2	3	4	5	6	7
O1	1		1		3		
O2		1	1				
O3					1	2	
O4						3	1, 2
O5	2	2					
O6	2		1	1		3	
O7		1		1, 2, 3			
O8						1, 2, 3	
O9							
O10			2		3		
O11			2	1, 2			
O12				2			
O13		1	1, 2, 3			2	
O14			1	1		2	
O15		1	1	1, 2, 3			
O16					1	2, 3	
O17	1		1, 3	1, 3			
O18		1					
O19			2	2			
O20			2	2			
O21				2			
O22	3						
O23			2	2			

7.4. Tulosten luotettavuus

Tutkimuksen tekemiseen liittyy aina epävarmuutta. Tutkimukseen osallistuneet opiskelijat eivät välttämättä edusta satunnaisotantaa, sillä he ovat fysiikan laitoksen opiskelijoita tietyltä kurssilta. Tulosten perusteella ei voida siis tehdä suurempia yleistyksiä, sillä poikkeama satunnaisotannasta saattaisi vääristää tuloksia.

Haastattelut olivat toteutettu ryhmähaastatteluina, mutta varsinkin litterointivaiheessa se saattaa vaikuttaa tuloksiin. Videoilta oli välillä vaikea saada selvää yksittäisen opiskelijan puheesta, sillä useampi heistä saattoi puhua samaan aikaan. Litterointivaiheessa tekstitiedostoihin on siis saattanut tulla virheitä, jos opiskelijoiden puhe on kuultu väärin tai jokin tärkeä asia on jäänyt kokonaan huomioimatta ja litteroimatta. Litterointivaiheessa tekstitiedostoihin on myös voinut litteroijasta johtuen tulla ajatus- tai kirjoitusvirheitä.

Haastattelujen osalta voisi jatkossa pohtia, onko ryhmähaastattelu paras vaihtoehto tutkimuksen teolle. Tutkimuksen tekijän ajankäytön kannalta sekä tutkimuksen kohderyhmän tilanteen luontevammaksi muuttamisen vuoksi ryhmähaastattelu on hyvä ja perusteltu muoto, mutta esimerkiksi tässä

tutkimuksessa yksittäisen opiskelijan vastauksista olisi voitu saada selkeämpi kuva ilman vuorovaikutusta muiden ryhmäläisten kanssa. Joidenkin opiskelijoiden kohdalla oli analyysia tehdessä havaittavissa ryhmän vaikutus yksilön mielipiteeseen. Toisaalta ryhmän vaikutusta yksilön tietorakenteiden kehittymiseen voisi olla mielenkiintoista tutkia jatkossa.

Suurimman virheen saatuihin tuloksiin aiheuttaa varmasti analyysin tekijän omat mielikuvat ja tulkinnat opiskelijoiden vastauksista. Vaikka tuloksia yritettiin tarkastella objektiivisesti, jossakin epäselvissä tilanteissa analyysin tekijän oma mielikuva on saattanut vaikuttaa opiskelijan kuvauksesta syntyneeseen tulkintaan.

8. Johtopäätökset ja pohdinta

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaisia selitysmalleja opiskelijoilla on sähköteholle. Tutkimuksessa opiskelijat pohtivat virtapiireihin liittyviä tutoriaaltehtäviä ja keskustelivat niistä pienryhmissä. Keskustelut videoitiin, jonka jälkeen videotut haastattelut litteroitiin. Aineistolähtöisen laadullisen analyysin avulla aineistosta tunnistettiin käsitteitä sekä niihin liitettyjä attribuutteja ja relaatioita. Attribuuttien avulla tutkittiin käsitteiden eriytyneisyyttä toisistaan ja relaatioiden avulla käsitteiden välisiä suhteita ja keskinäistä järjestystä. Näiden pienempien käsitteisiin liittyvien osa-alueiden perusteella muodostettiin sähköteholle seitsemän erilaista selitysmallia.

Opiskelijoilla havaittiin olevan useita samoja jo aiemmin raportoituja ennakkokäsityksiä virtapiirien toiminnasta, kuten esimerkiksi virran kuluminen piirissä ja paristo vakiovirran lähteenä. (mm. McDermott & Shaffer, 1992; Borges & Gilbert, 1999.) Tutkimukseen osallistuneet opiskelijat eivät myöskään osanneet eritellä käsitteitä toisistaan ja käyttivät niitä usein ristiin keskenään (vrt. Koponen & Huttunen, 2013; Li & Singh, 2016). Tässäkin tutkimuksessa vahvasti nousi esiin se, etteivät opiskelijat erota käsitteitä toisistaan ja usein he puhuivat virrasta jännitteenä ja sähkötehosta virtana. Virtapiirien toimintaa selitettiin usein vain virran avulla juurikaan mainitsematta muita käsitteitä. Yleisimmin käytetyt vain virtaan perustuvat selitykset tukivat myös havaittuja ennakkokäsityksiä, joissa virta kuluu piirissä ja paristo antaa aina vakiovirran. Opiskelijat usein selittivät virran olevan jokin joka virtaa piirissä ja aiheuttaa havaittuja ilmiöitä, kuten lampun kirkkauden tai sähkönkulutuksen. Tämä piirre saattaa viestiä siitä, että he eivät joko tunnista muiden käsitteiden olemassaoloa ollenkaan tai eivät vain osaa selittää niiden linkittymistä aiheeseen, joten jättävät ne kokonaan mainitsematta. Sen sijaan aiemmasta ennakkokäsityksien tutkimuksesta poiketen opiskelijoilla ei havaittu puutteellista ymmärrystä suljetusta virtapiiristä (vrt. McDermott & Shaffer, 1992). He hahmottivat myös sarjaan- ja rinnankytkennän eron kytkentäkaavioista. Kuitenkin fyysisten virtapiirien rakenteluvaiheessa muutamilla opiskelijoilla oli havaittavissa pientä epäröintiä, joka voidaan tulkita siten, että sarjaan- ja rinnankytkennän ero ei kuitenkaan ole täysin selkeä. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan tarkemmin tutkittu työskentelyä oikeilla komponenteilla, vaikka siitäkin voisi ehkä saada mielenkiintoisia käsityksiä tarkentavia tuloksia. Edellä mainittujen ennakkokäsityksien lisäksi aiemmin havaituista sähkötehon ennakkokäsityksistä esiin nousi lampun rakenteen suora vaikutus sen kuluttamaan tehoon (Li & Singh, 2016). Erityisesti tämä ennakkokäsitys viittaa siihen, että yliopisto-opiskelijatkaan eivät tiedä, mistä sähköteho todellisuudessa johtuu ja pyrkivät selittämään sitä keksimällään yksinkertaisella mentaalilla mallilla.

Kaiken kaikkiaan yllättävää on se, että fysiikkaa opiskelevista yliopisto-opiskelijoista vain murto-osa osaa selittää yksinkertaisten virtapiirien toimintaa. Heillä, jotka eivät osaa selittää, saattaa kuitenkin olla jonkin verran relaationaalista tietoa. Relaationaalinen tieto ei kuitenkaan yksinään vielä riitä, jos opiskelijat eivät osaa käyttää sitä hyväksi oppimisprosessissaan. Esimerkiksi kaavan $P=UI$ ulkoa osaaminen

ei vielä tarkoita, että ymmärtäisi mitä se todellisuudessa merkitsee. Suurin osa opiskelijoista vaikutti tutkimuksen mukaan olevan juuri tällä tasolla sähkötehon käsityksissään. He osasivat asettaa kaavat oikeaan muotoon, mutta harva osasi selittää miksi tehoon vaikuttaa juuri jännite ja virta. Tässä tutkimuksessa tehdyt havainnot relaatioiden käytöstä tukevat aiempaa kirjallisuutta ja samankaltaisia tutkimuksia (ks. esim. Kokkonen & Mäntylä 2017) erityisesti niiltä osin, joissa opiskelijoiden käsitykset näyttivät perustuvan vain yksinkertaisiin malleihin ja näin ollen he eivät päässeet kovin pitkälle selityksissään (Perkins & Grotzer, 2005; Kokkonen & Nousiainen, 2016). Yleisimmät tutkimuksessa havaitut relaatiot olivat Perkinsin ja Grotzerin (2005) esittämästä selkeimmästä relaatiokategoriasta 1 (yksinkertainen kausaalisuhde). Havaitut ensimmäisen asteen relaatiot vastaavat konkreettisemmin esimerkiksi aistihavaintoja, kun taas korkeamman asteen relaatiot käsittelevät abstraktimpia asioita ja relaatioita niiden välillä (Kokkonen & Nousiainen, 2016). Jonkin verran tutkimuksessa esiintyi myös muiden kategorioiden relaatioita, mutta näitä havaittiin hyvin vähän ja vain muutamilla opiskelijoilla. Suurin osa harvemmin havaituista relaatioista olivat korkeamman asteen relaatioita. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu kaikkia Perkinsin & Grotzerin (2005) esittämiä relaatiokategorioita, kuten esimerkiksi 5 (ehtoihin perustuva kausaalisuhde) ja 6 (yksinkertainen kierto), sillä ne sisälsivät sellaisia korkeamman asteen relaatioita, joita opiskelijat eivät osanneet tunnistaa tai selittää ollenkaan.

Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että relaationaalisen tiedon hallinnalla on merkittävä osuus kattavien selitysmallien luomisessa. Vain sellaiset opiskelijat, joilla oli havaittavissa korkeamman asteen relaatioita, pääsivät lähimmäs oikeaa tieteellistä selitysmallia sähköteholle. Usein opiskelijat turvautuivat helppoihin yksinkertaisiin relaatioihin, kuten A vaikuttaa B:hen, ja onnistuivat kyllä luomaan sähköteholle jonkinlaisen selitysmallin. (ks. Perkins & Grotzer, 2005.) Usein nämä mallit sisälsivät kuitenkin selviä aukkoja ja käsitteet mallin sisällä olivat keskenään ristiriitaisia. Sähkötehon selittäminen yksinkertaisilla relaatioilla on mahdotonta, sillä esimerkiksi tieteelliseen selitysmalliin tarvittava Ohmin laki on jo korkeamman asteen relaatio, sillä se yhdistää relaationaalisia käsitteitä. Tehon käsitettä ei siis voi ymmärtää ja oppia, jos ei kykene tunnistamaan relaatiota käsitteiden taustalla. Käsityksiä tarkastellessa tulee kuitenkin muistaa, että tämän kaltaiset kaavamaiset määrittelyt eivät ole välttämättä ollenkaan osa oppilaiden käsityksiä (Paatz ym., 2004). Opiskelijat eivät nimittäin välttämättä yhdistä käsitteitä millään tavalla relaatioiden kautta, vaan he saattavat nähdä sähkövirran jonakin joka virtaa piirissä tai jakautuu liitoksissa, sekä jännitteen jonakin asiana pariston eri napojen välillä. Jatkossa fysiikan opetuksessa voisi korostaa jo varhaisessa vaiheessa opiskelijoille eri ilmiöiden taustalla olevia relaationaalisia rakenteita. Tämän seurauksena opiskelijatkin saattaisivat oppia huomaamaan ja tunnistamaan paremmin asioiden välisiä relaatioita. Toisaalta tämä ei välttämättä yksinään ole ratkaisu tiettyjen ennakkokäsitysten vähenemiseen, mutta saattaa olla avuksi kokonaisvaltaisemman kuvan luomisessa.

Relaationaalinen tieto, esimerkiksi käsitteiden virta, resistanssi, jännite ja teho yleisimmistä syy ja seuraus -suhteista, auttaa opiskelijaa luomaan monipuolisemman ja jäsentyneemmän käsityksen

sähköteholle. Relaatioiden avulla käsitteitä voi myös helpommin jaotella ja järjestellä keskenään. Relaatioita hyödyntävässä käsitehierarkiassa liikkuminen esimerkiksi ongelmanratkaisutilanteessa on opiskelijalle helpompaa, sillä relaatioita hyödyntävä opiskelija osaa todennäköisesti laajentaa tietoaan uusiin kohtaamiinsa ilmiöihin. Näin ollen hän ymmärtää etsiä uusista ilmiöistä syy- ja seuraussuhteita ja osaa muodostaa kohtaamistaan ilmiöstä heti alkuun tietorakenteen, joka ei ole vain lista erilaisia käsityksiä. Tehty tutkimus tukee siis kirjallisuudessaakin mainittua näkökulmaa, jossa esitetään puutteellisen käsityksen fysikaalisten ilmiöiden taustalla olevista luonnonlaeista olevan eräs piirre yleisille oppimisvaikeuksille. (Brown & Hammer, 2008; Perkins & Grotzer, 2005; Kokkonen & Nousiainen, 2016.)

Tuloksia tarkastellessa tulee ottaa huomioon valitun tutkimusmetodin vaikutus tuloksiin. Tutkimukseen osallistuneet opiskelijat eivät välttämättä myöskään edusta satunnaisotantaa, sillä he ovat fysiikan laitoksen opiskelijoita tietyltä kurssilta. Tulosten perusteella ei voida siis tehdä suurempia yleistyksiä, sillä poikkeama satunnaisotannasta saattaisi vääristää tuloksia. Haastattelututkimuksen avulla ei välttämättä saada jokaisen opiskelijan käsityksistä tarkkaa kuvaa, sillä opiskelijat reagoivat haastattelutilanteessa eri tavoin. Osa haastateltavista ei välttämättä sano mitään, vaikka tietäisivätkin aiheesta paljon ja heillä olisi aiheesta kattava selitysmalli. Käsityksiä on kuitenkin vaikea tutkia muilla tavoin, sillä haastattelun avulla päästään todennäköisesti lähimmäs sitä tajunnanvirtaa ja ongelmanratkaisuprosessia, jota opiskelija käy tehtävää ratkaistessaan läpi. Haastattelujen osalta voisi jatkossa pohtia, onko ryhmähaastattelu paras toimintatapa käsitteiden tutkimukseen, sillä esimerkiksi yksilöittäin haastattelussa yksittäisen opiskelijan vastauksista voisi saada selkeämmän kuvan ilman vuorovaikutusta muiden ryhmäläisten kanssa. Joidenkin opiskelijoiden kohdalla oli havaittavissa ryhmän vaikutus yksilön mielipiteeseen. Toisaalta taas ryhmän vaikutusta yksilön tietorakenteiden kehittymiseen voisi olla mielenkiintoista tutkia jatkossa.

Tämän tutkimuksen myötä sähkötehon käsityksistä tiedetään hieman enemmän ja jatkossa tehtävä tutkimus osataan kohdistaa paremmin mielenkiintoisiin esiin nousseisiin seikkoihin. Jatkossa voisi esimerkiksi olla hyvä tutkia, onko varhaisessa vaiheessa alkavalla relaatioita korostavalla opetuksella vaikutusta selitysmallien myöhempään kehitykseen.

Lähdeluettelo

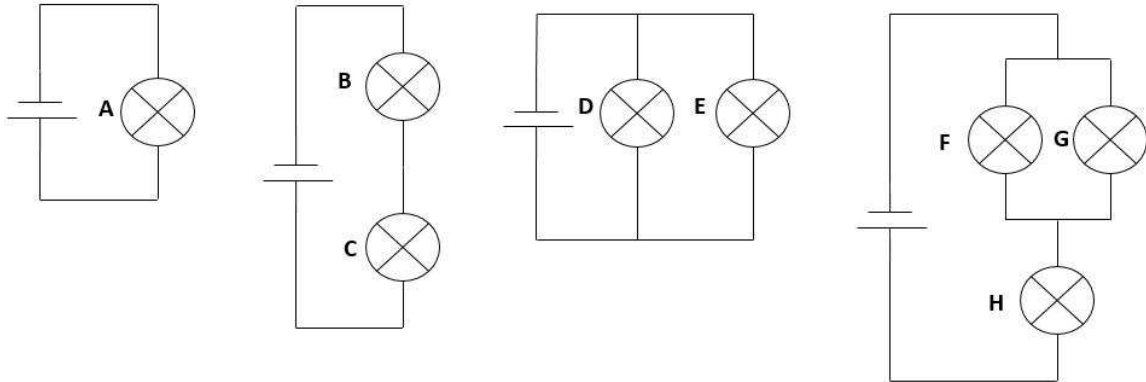
- Borges, A., & Gilbert, J. K. (1999): Mental models of electricity. *International Journal of Science Education*, 21(1), s. 95-117.
- Brown, D. E. & Hammer, D. (2008): Conceptual change in physics. Teoksessa S. Vosniadou (Toim.), *International handbook of research on conceptual change*, s. 127–154. New York: Routledge.
- Chi, M. T. (2008): Three Types of Conceptual Change: Belief Revision, Mental Model Transformation, and Categorical Shift. Teoksessa S. Vosniadou (Toim.), *Handbook of research on conceptual change*, s. 61–68. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chi, M. T. (2013): Two kinds and four sub-types of misconceived knowledge, ways to change it and the learning outcomes. Teoksessa S. Vosniadou (Toim.), *International handbook of research on conceptual change*, 2nd ed., s. 49-70. London: Routledge.
- Chi, M. T., Slotta, J. D. & de Leeuw, N. (1994): From Things to Processes: A Theory of Conceptual Change for Learning Science Concepts. *Learning and Instruction*, 4, s. 27-43.
- Cohen, R., Eylon, B., & Ganiel, U. (1983): Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51(407).
- Engelhardt P. V. & Beichner R. J. (2004): Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Association of Physics Teachers*, 72, s. 98-115.
- Gentner, D. (1989): The mechanisms of analogical learning. Teoksessa S. Vosniadou, & A. Ortony (Toim.), *Similarity and analogical reasoning*, s. 199–241. London: Cambridge University Press.
- Gentner, D. (2005): The development of relational category knowledge. Teoksessa L. Gershgoff-Stowe, & D. Rakison (Toim.), *Building object categories in developmental time*, s. 245–275, Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Goldwater, M. B. & Schalk, L. (2016): Relational Categories as a Bridge Between Cognitive and Educational Research. *Psychological Bulletin*. Advance online publication. <http://dx.doi.org/10.1037/bul0000043>
- Goldwater, M. B. & Gentner, D. (2015): On the acquisition of abstract knowledge: Structural alignment and explication in learning causal system categories. *Cognition*, 137, s. 137-153.
- Hakkarainen, K., Lonka, K., Lipponen, L. (2004): Tutkiva oppiminen: *Järki, tunteet ja kulttuuri oppimisen synnyttäjinä*. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.
- Halford, G. S., Wilson, W. H., & Phillips, S. (2010): Relational knowledge: The foundation of higher cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(11), s. 497-505.
- Hendolin, I. (2009): *Demonstraatioiden merkitys fysiikan yliopisto-opetuksessa*. Lisensiaatintutkimus, Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (1997): Tutki ja kirjoita. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Hirsjärvi S. & Hurme, H. (2010): Tutkimushaastattelu, Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.

- Keil, F. C. (1989): Concepts, Kinds and Cognitive Development. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Kokkonen, T. (2013): *Käsitteet ja käsitteellinen muutos tasavirtapiirien kontekstissa*. Pro Gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos.
- Kokkonen, T. & Mäntylä T. (2017): Changes in University Students' Explanation Models of DC circuits. *Research in Science Education*, doi.org/10.1007/s11165-016-9586-y
- Kokkonen, T. & Nousiainen, M. (2016): Learning physics concepts - a description in terms of relational concepts. Teoksessa H. Silfverberg ja P. Hestö (toim.) *Proceedings of FMSERA 2015*, s. 35-47.
- Koponen, I. T., & Huttunen, L. (2013): Concepts Development in Learning Physics: The Case of Electric Current Revisited. *Science & Education*, 22(9), s. 2227-2254.
- Koponen, I. T. & Kokkonen T. (2014): A Systemic view of the learning and differentiation of scientific concepts: The case of electric current and voltage revisited. *Frontline Learning Research*, 2(3), s. 140-166.
- Li, J. & Singh, C. (2016): Students' common difficulties and approaches while solving conceptual problems with non-identical light bulbs in series and parallel, *European Journal of Physics*, 37(6).
- Lukion opetussuunnitelma 2015. Opetushallitus, Helsinki.
- Machery, E. (2009): *Doing Without Concepts*. New York, New York: Oxford University Press.
- Markman, A. B. (1999): *Knowledge representation*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- McDermott, L. C. & Shaffer, P. S. (1992): Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I & II: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60, s. 994-1003.
- Paatz, R., Ryder, J., Schwedes, H., & Scott, P. (2004): A case study analysing the process of analogy-based learning in a teaching unit about simple electric circuits. *International Journal of Science Education*, 26(9), s. 1065-1081.
- Perkins, D. N. & Grotzer, T. A. (2005): Dimensions of Causal Understanding: the Role of Complex Causal Models in Students' Understanding of Science. *Studies in Science Education*, 41(1), s. 117-165.
- Picciarelli V., Di Gennaro, M., Stella R. & Conte E. (1991): A Study of University Students' Understanding of Simple Electric Circuits Part 2: Batteries, Ohm's Law, Power Dissipated, Resistors in Parallel. *European Journal of Engineering Education*, 16(1), s. 57-71.
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi M. T. & Resnick, L. B. (2000): Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18(1), s. 1-34.
- Saari, A. (2013): *Yliopisto-opiskelijoiden käsityksiä sähkövirrasta ja jännitteestä*. Pro Gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos.
- Saxena, A. B. (1992): An attempt to remove misconceptions related to electricity, *International Journal of Science Education*, 14(2), s. 157-162.
- Shipstone, D. (1988): Pupils' understanding of simple electrical circuits. *Physics Education*, 23, s. 92-96.
- Slotta, J. D. & Chi, M. T. (2006): Helping Students Understand Challenging Topics in Science through Ontology Training. *Cognition and Instruction*, 24(2), s. 261 - 289.

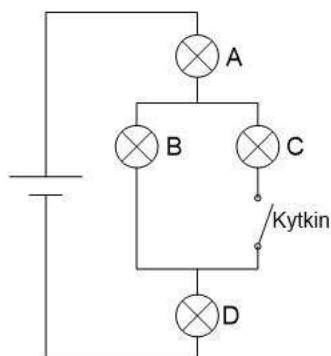
- Slotta, J. D., Chi, M. T. & Joram, E. (1995): Assessing Students' Misclassifications of Physics Concepts: An Ontological Basis for Conceptual Change. *Cognition and Instruction*, 13(3), s. 373 - 400.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2002): Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Helsinki: Tammi.
- Tynjälä, P. (1999): Oppiminen tiedon rakentamisena: *Konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita*. Tampere: Kirjayhtymä Oy, Tammer-Paino Oy.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1992): Mental Models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood. *Cognitive Psychology*, 24, s. 535-585.
- Vosniadou S. (1994): Capturing and modeling the process of conceptual change, *Learning and Instruction*, 4, s. 45-69.

Liite 1: Tutorkaalltehtävät

Ensimmäinen haastattelu



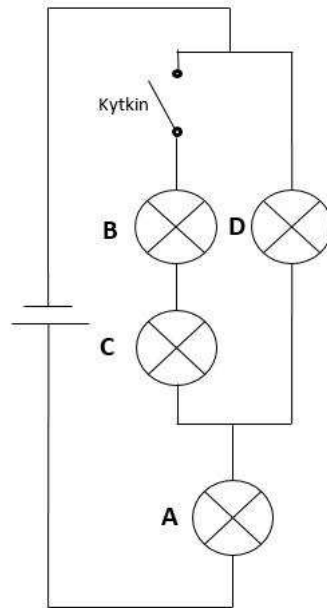
Yllä olevat virtapiirit koostuvat samanlaisista lampuista ja paristoista. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään ja merkitse se paperiin. Jos kaksi lamppua tai useampi lamppu ovat yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Pohdi vastausta ensin itse ja vastauksen kirjoittamisen jälkeen pohtikaa ja keskustelkaa ryhmässä.



Yllä oleva virtapiiri muodostuu ideaalisesta paristosta, neljästä samanlaisesta lampusta ja kytkimestä. Pohdi vastauksia ensin itse ja vastausten kirjoittamisen jälkeen pohtikaa ja keskustelkaa ryhmässä.

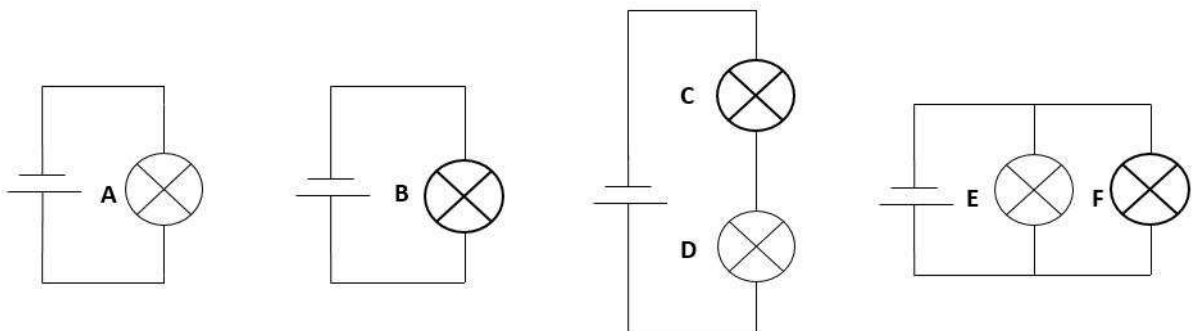
- Kun kytin on auki: aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen ja merkitse se tähän:
- Kun kytin suljetaan: kasvaako, pieneneekö vai pysyykö lampun A kirkkaus samana?
- Kun kytin on kiinni: aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen ja merkitse se tähän:

Toinen haastattelu



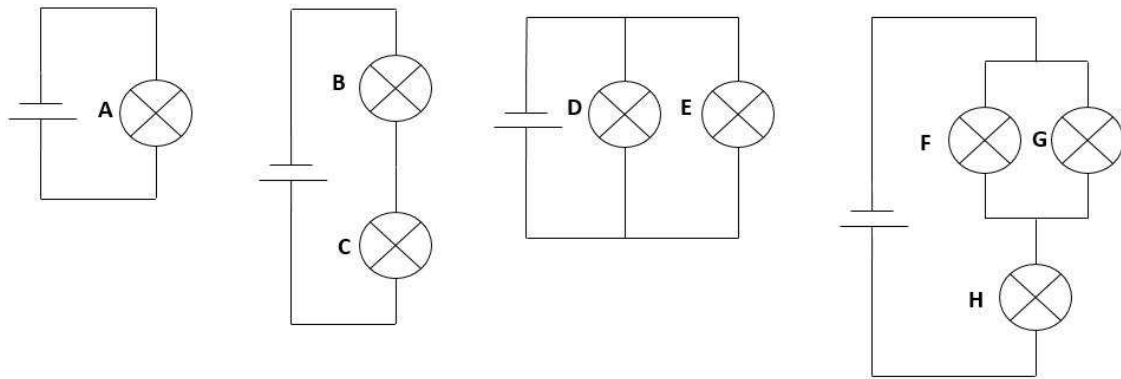
Yllä oleva virtapiiri muodostuu ideaalisesta paristosta, neljästä samanlaisesta lampusta ja kytkimestä. Pohdi vastauksia ensin itse ja vastausten kirjoittamisen jälkeen pohtikaa ja keskustelkaa ryhmässä.

- Kun kytkin on auki: aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen ja merkitse se tähän:
- Kun kytkin suljetaan: kasvaako, pieneneekö vai pysyykö lampun A kirkkaus samana? Kirjoita vastauksesi tähän:

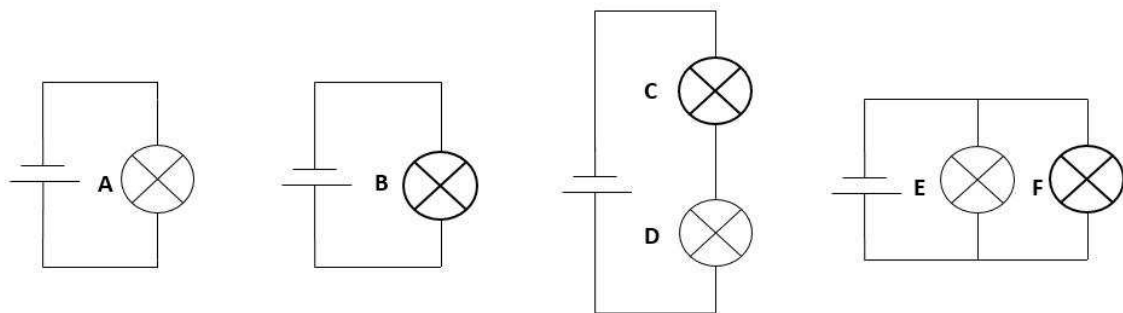


Lamppujen resistanssit ovat $R_B = R_C = R_F > R_A = R_D = R_E$. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään ja merkitse se paperiin. Jos kaksi lamppua tai useampi lamppu ovat yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Pohdi vastausta ensin itse ja vastauksen kirjoittamisen jälkeen pohtikaa ja keskustelkaa ryhmässä.

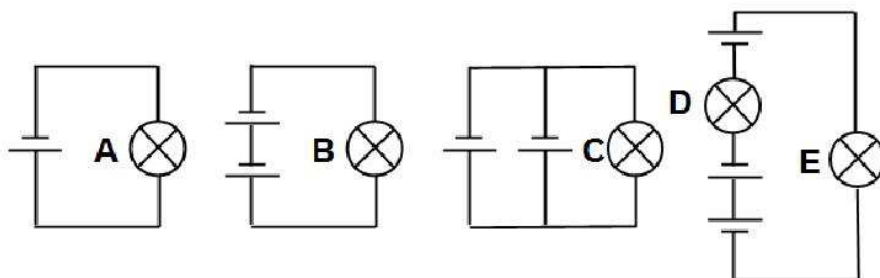
Kolmas haastattelu



Yllä olevat virtapiirit koostuvat samanlaisista lampuista ja paristoista. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään ja merkitse se paperiin. Jos kaksi lampua tai useampi lamppu ovat yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Pohdi vastausta ensin itse ja vastauksen kirjoittamisen jälkeen pohtikaa ja keskustelkaa ryhmässä.



Lamppujen resistanssit ovat $R_B = R_C = R_F > R_A = R_D = R_E$. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään ja merkitse se paperiin. Jos kaksi lampua tai useampi lamppu ovat yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Pohdi vastausta ensin itse ja vastauksen kirjoittamisen jälkeen pohtikaa ja keskustelkaa ryhmässä.



Yllä olevat virtapiirit koostuvat samanlaisista lampuista ja paristoista. Oleta, että paristot ovat ideaalisia (ts. paristoilla ei ole sisäistä resistanssia). Aseta lamput kirkkauden mukaiseen järjestykseen kirkkaimmasta himmeimpään ja merkitse se paperiin. Jos kaksi lampua tai useampi lamppu ovat yhtä kirkkaita, tuo se vastauksessasi esiin. Pohdi vastausta ensin itse ja vastauksen kirjoittamisen jälkeen pohtikaa ja keskustelkaa ryhmässä.